全国勘察设计注册电气工程师执业资格考试系列

全国勘察设计注册电气工程师执业资格考试培训教程

专业考试

（供配电）

注册电气工程师考试培训教程编写组　编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内容简介

全书共分十五章，主要包括：安全，环境保护与节能，负荷分级与计算，110kV及以下供配电系统，110kV及以下变配电所所址选择和电气设备布置，短路电流计算，110kV及以下电气设备选择，35kV及以下导体、电缆和架空线路的设计，110kV及以下变配电所控制、测量、继电保护和自动装置，变配电所操作电源，防雷及过电压保护，接地，照明，电气传动，建筑智能化。

本书以考试大纲为准，内容全面，难度适宜，注重实用性，是参加注册电气工程师执业资格考试考生的必备书籍。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

全国勘察设计注册电气工程师执业资格考试培训教程．专业考试．供配电/注册电气工程师考试培训教程编写组编．—北京：电子工业出版社，2015.4
（全国勘察设计注册电气工程师执业资格考试系列）

ISBN 978-7-121-25805-3

Ⅰ.①全… Ⅱ.①注… Ⅲ.①电气工程-工程师-资格考试-自学参考资料②供电系统-工程师-资格考试-自学参考资料③配电系统-工程师-资格考试-自学参考资料 Ⅳ.①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第069056号

责任编辑：柴 燕　　文字编辑：徐 萍
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路173信箱　邮箱100036
开　　本：787×1092　1/16　印张：47.75　字数：1222.4千字
版　　次：2015年4月第1版
印　　次：2015年4月第1次印刷
印　　数：3000册　　定　　价：118.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：(010)88254888。

质量投拆请发邮件至zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010)88258888。

前　言

注册电气工程师执业资格考试是广大工程技术人员从事相应工作的必经之路，对于考生而言是一个充满艰辛和挑战的过程，如何在短短的几个月时间内顺利通过考试，是需要考生付出极大的努力的。

为了使广大考生能够全面、系统地进行复习，我们按照最新考试大纲，组织长期参与注册电气工程师执业资格考试培训辅导、具有多年教学经验的老师，严格按照最新考试大纲的内容，编写了这本详略得当、重点突出、针对性强的学习辅导用书——《全国勘察设计注册电气工程师执业资格考试培训教程专业考试（供配电）》。本书内容全面，针对性强，注重实用，使考生更全面、具体地掌握大纲的每一个考点，做到心中有数。

本书由注册电气工程师考试培训教程编写组编，参编的人员主要有：叶梁梁、李仲杰、陈佳思、刘娇、张正南、李芳芳、梁燕、刘海明、张跃、王婷、祖兆旭、王文慧、高海静、朱思光、付亚东、江超、张蔷、葛新丽、张玲、闾盈、马军卫、孙晓林。

本书编者本着严谨务实的态度，精心编写，严格把关，但难免有疏漏和不足之处，敬请读者提出批评意见。同时，本书在编写过程中，参考了大量的文献资料，吸收了该学科目前研究的最新成果。为了行文方便，对于所引成果及材料未能在书中一一注明，笔者在此对于在本书编写中给予帮助的专家大作，表示致敬和感谢！

编　者

目　录

1　安全 …… 1

1.1　工程建设标准电气专业强制性条文 …… 1

1.1.1　电力工程 …… 1

1.1.2　房屋建筑 …… 19

1.2　电流对人体的效应 …… 26

1.2.1　名词解释 …… 26

1.2.2　15～100Hz 范围内正弦交流电流的效应 …… 27

1.2.3　直流电流的效应 …… 33

1.2.4　人体的阻抗 …… 35

1.3　安全电压及电击防护的基本要求 …… 48

1.3.1　电击防护的基本要求 …… 48

1.3.2　电击防护的保护措施 …… 49

1.4　低压系统接地故障的保护设计和等电位联结的有关要求 …… 64

1.4.1　接地故障保护 …… 64

1.4.2　漏电保护器 …… 67

1.4.3　等电位联结 …… 71

1.5　危险环境电力装置的特殊设计要求 …… 73

1.5.1　爆炸性气体环境的设计要求 …… 73

1.5.2　爆炸性粉尘环境 …… 77

1.5.3　爆炸性环境的电力装置设计 …… 79

1.5.4　特殊场所内的电气安全 …… 86

1.6　电气设备防误操作的要求及措施 …… 102

1.6.1　防误装置的功能 …… 102

1.6.2　设计、制造及选用防误装置的原则 …… 102

1.7　电气工程设计的防火要求及措施 …… 103

1.7.1　20kV 及以下变电所设计的防火要求及措施 …… 103

1.7.2　建筑设计防火要求及措施 …… 103

1.7.3　3～110kV 高压配电装置设计的防火要求及措施 …… 103

1.7.4 高层民用建筑设计的防火要求及措施 …… 104
1.8 电力设施抗震设计和措施 …… 105
1.8.1 一般规定 …… 105
1.8.2 电力设施抗震设计方法 …… 106

2 环境保护与节能 …… 111

2.1 电气设备对环境的影响及防治措施 …… 111
2.1.1 电磁 …… 111
2.1.2 谐波 …… 112
2.2 供配电系统设计的节能措施 …… 115
2.2.1 变压器节能 …… 115
2.2.2 供配电系统节能 …… 122
2.2.3 照明节能 …… 124
2.2.4 照明节能的措施 …… 125
2.3 提高电能质量的措施 …… 126
2.3.1 电能质量 …… 126
2.3.2 供电电压偏差 …… 126
2.3.3 电压波动和闪变 …… 127
2.3.4 谐波 …… 127
2.3.5 三相不平衡 …… 127
2.4 节能型电气产品的选用方法 …… 128
2.4.1 交流调速系统的分类 …… 128
2.4.2 调速装置的选择 …… 129

3 负荷分级与计算 …… 131

3.1 负荷分级的原则及供电要求 …… 131
3.1.1 负荷分级 …… 131
3.1.2 供电要求 …… 134
3.2 负荷计算的方法 …… 135
3.2.1 基本概念 …… 135
3.2.2 计算方法 …… 136
3.2.3 设备功率 …… 137
3.2.4 需要系数法确定计算负荷 …… 138
3.2.5 利用系数法确定计算负荷 …… 139
3.2.6 单位面积功率法和单位指标法确定计算负荷 …… 140
3.2.7 单相负荷计算 …… 141
3.2.8 尖峰电流的确定 …… 142
3.2.9 企业年电能消耗量计算 …… 142

4　110kV 及以下供配电系统 …… 144

4.1　供配电系统电压等级选择的原则 …… 144
4.1.1　高压供配电系统 …… 144
4.1.2　低压配电系统 …… 145
4.2　供配电系统的接线方式及特点 …… 146
4.2.1　35～110kV 高压电源系统的接线方式及特点 …… 146
4.2.2　高压配电系统中性点接地方式 …… 150
4.2.3　6～35kV 配电系统的接线方式及特点 …… 152
4.2.4　低压配电系统的接线方式及特点 …… 153
4.3　应急电源和备用电源的选择及接线方式 …… 155
4.3.1　应急电源种类和要求 …… 155
4.3.2　应急电源系统设计 …… 155
4.3.3　柴油发电机组的功能要求和容量选择 …… 157
4.3.4　应急电源 EPS …… 159
4.3.5　不间断电源装置(UPS) …… 161
4.3.6　备用电源 …… 164
4.4　电能质量要求及改善电能质量的措施 …… 165
4.4.1　电能质量要求 …… 165
4.4.2　改善电能质量的措施 …… 168
4.5　无功补偿设计要求 …… 173
4.5.1　无功补偿设计 …… 173
4.5.2　无功补偿装置的设计要求 …… 175
4.6　抑制谐波的措施 …… 185
4.7　电压偏差的要求及改善措施 …… 185
4.7.1　电压偏差的要求 …… 185
4.7.2　电压偏差的限值 …… 185
4.7.3　改善电压偏差的措施 …… 185

5　110kV 及以下变配电所所址选择和电气设备布置 …… 186

5.1　变配电所所址选择的基本要求 …… 186
5.1.1　20kV 及以下变电所所址选择 …… 186
5.1.2　35～110kV 变电站所址选择 …… 187
5.2　变配电所布置设计 …… 188
5.2.1　20kV 及以下变电所布置设计 …… 188
5.2.2　35～110kV 变电站布置设计 …… 189
5.3　电气设备的布置设计 …… 189
5.3.1　3～110kV 高压配电装置布置设计 …… 189
5.3.2　各级电压配电装置安全净距 …… 190
5.3.3　并联电容器布置 …… 193

5.3.4 变配电所的防火与蓄油设施 …… 194
5.3.5 变配电所设计对其他专业的要求 …… 196
5.4 特殊环境的变配电装置设计 …… 199
5.4.1 污秽地区配电装置的设计 …… 199
5.4.2 高海拔地区配电装置的设计 …… 202

6 短路电流计算 …… 204

6.1 短路电流计算方法 …… 204
6.1.1 短路电流的概念 …… 204
6.1.2 高压系统短路电流计算 …… 206
6.1.3 低级系统短路电流计算 …… 222
6.2 短路电流计算结果的应用 …… 229
6.3 影响短路电流的因素和限制短路电流的措施 …… 229
6.3.1 影响短路电流的因素 …… 229
6.3.2 限制短路电流的措施 …… 229

7 110kV 及以下电气设备选择 …… 231

7.1 常用电气设备选择的技术条件和环境条件 …… 231
7.1.1 选择电气设备的技术条件 …… 231
7.1.2 选择电气设备的环境条件 …… 233
7.1.3 环境保护 …… 235
7.2 高压变配电设备及电气元件的选择 …… 235
7.2.1 变压器选择 …… 235
7.2.2 开关电器选择 …… 238
7.2.3 互感器选择 …… 247
7.2.4 电抗器 …… 249
7.2.5 中性点接地设备 …… 251
7.2.6 变频装置 …… 256
7.2.7 过电压保护设备 …… 257
7.2.8 高压电瓷选择 …… 260
7.2.9 交流金属封闭开关设备 …… 262
7.2.10 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备 …… 263
7.3 低压配电设备及电气元件的选择 …… 266
7.3.1 选择要求 …… 266
7.3.2 开关电器和隔离电器的选择 …… 271
7.3.3 保护电器的选择 …… 272

8 35kV 及以下导体、电缆和架空线路的设计 …… 277

8.1 导体的选择和设计 …… 277
8.1.1 3～35kV 配电装置导体的选择 …… 277

8.1.2　低压配电系统导体的选择 …… 279
8.2　电线、电缆选择和设计 …… 285
8.2.1　电线、电缆芯线材质 …… 285
8.2.2　电线、电缆芯数 …… 286
8.2.3　电缆绝缘水平 …… 286
8.2.4　电缆绝缘类型 …… 287
8.2.5　电缆护层类型 …… 288
8.2.6　控制电缆及其金属屏蔽 …… 289
8.2.7　电力电缆导体截面 …… 290
8.3　电缆敷设的设计 …… 293
8.3.1　一般规定 …… 293
8.3.2　敷设方式选择 …… 295
8.3.3　地下直埋敷设 …… 297
8.3.4　保护管敷设 …… 298
8.3.5　电缆构筑物敷设 …… 299
8.3.6　其他公用设施中敷设 …… 301
8.3.7　水下敷设 …… 302
8.4　电缆防火与阻燃设计要求 …… 302
8.4.1　电缆防火与阻燃措施 …… 302
8.4.2　电缆防火与阻燃设计 …… 304
8.5　架空线路设计要求 …… 305
8.5.1　一般要求 …… 305
8.5.2　导线的排列间隔 …… 307
8.5.3　绝缘子选择 …… 308

9　110kV 及以下变配电所控制、测量、继电保护和自动装置 …… 309

9.1　变配电所控制、测量和信号设计要求 …… 309
9.1.1　变配电所控制、测量和信号设计原则 …… 309
9.1.2　变配电所电气测量及电能计量设计要求 …… 310
9.1.3　变配电所测量用电流、电压互感器的选择 …… 318
9.2　电气设备和线路继电保护的配置、整定计算及选型 …… 320
9.2.1　电力变压器的保护 …… 320
9.2.2　电力电容器的保护 …… 328
9.2.3　3～10kV 电动机保护 …… 331
9.2.4　6～10kV 线路继电器保护装置 …… 334
9.2.5　6～10kV 母线分段断路器保护 …… 337
9.3　变配电所自动装置及综合自动化的设计要求 …… 338
9.3.1　自动重合器 …… 338
9.3.2　备用电源或备用设备的自动投入装置 …… 339
9.3.3　自动低频低压减负荷装置 …… 339

9.3.4 变配电所综合自动化的设计 …… 340

10 变配电所操作电源 …… 342

10.1 直流操作电源的设计要求 …… 342
10.1.1 直流系统负荷 …… 342
10.1.2 直流电源 …… 344
10.1.3 直流系统接线 …… 345
10.1.4 蓄电池的选择及容量计算 …… 346
10.1.5 充电装置的选择 …… 351
10.1.6 高频开关电源整流装置选择 …… 354
10.1.7 直流设备的选择和布置 …… 355
10.2 UPS 电源的设计要求 …… 358
10.2.1 概述 …… 358
10.2.2 容量计算 …… 359
10.3 交流操作电源的设计要求 …… 359
10.3.1 概述 …… 359
10.3.2 常用的交流操作电源 …… 360
10.3.3 带 UPS 的交流操作电源 …… 361

11 防雷及过电压保护 …… 363

11.1 电力系统过电压的种类和过电压水平 …… 363
11.1.1 系统运行中出现于设备绝缘上的电压 …… 363
11.1.2 暂时过电压、操作过电压水平 …… 363
11.1.3 绝缘配合 …… 364
11.2 交流电气装置过电压保护设计要求及限制措施 …… 368
11.2.1 雷电过电压及保护设计 …… 368
11.2.2 暂时过电压、操作过电压及保护 …… 392
11.3 建筑物防雷的分类及措施 …… 397
11.3.1 建筑物防雷的分类 …… 397
11.3.2 建筑物防雷的措施 …… 401
11.4 建筑物防雷和防雷击电磁脉冲设计的计算方法和设计要求 …… 428
11.4.1 建筑物防雷装置的设计要求 …… 428
11.4.2 建筑物电子信息系统的设计要求 …… 451

12 接地 …… 466

12.1 电气装置接地的一般规定 …… 466
12.1.1 概述 …… 466
12.1.2 一般规定 …… 467
12.2 电气装置保护接地的范围 …… 467
12.2.1 保护接地的范围 …… 467

12.2.2　可不接地的范围 …… 468
12.3　电气装置的接地装置设计要求 …… 469
12.3.1　一般要求 …… 469
12.3.2　接地电阻 …… 470
12.3.3　接地网的设计 …… 473
12.3.4　具有气体绝缘金属封闭开关设备变电站的接地 …… 478
12.3.5　雷电保护和防静电的接地 …… 479
12.3.6　高压架空线路和电缆线路的接地 …… 480
12.3.7　高压配电电气装置的接地 …… 483
12.3.8　土壤中人工接地极工频接地电阻的计算 …… 484
12.3.9　低压电气装置的接地装置和保护导体 …… 486
12.3.10　高压电气装置接地导体(线)的热稳定校验 …… 491
12.4　各种接地形式的适用范围 …… 492
12.4.1　低压系统接地形式 …… 492
12.4.2　接地形式要求 …… 496
12.4.3　低压架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统 … 497
12.5　接触电压、跨步电压计算方法 …… 499
12.5.1　概述 …… 499
12.5.2　均匀土壤中接地网接触电位差和跨步电位差的计算 …… 499

13　照明 …… 505

13.1　照明方式和照明种类的划分 …… 505
13.1.1　照明方式 …… 505
13.1.2　照明种类 …… 505
13.2　照度标准及照明质量的要求 …… 506
13.2.1　照明标准 …… 506
13.2.2　照明质量 …… 522
13.3　光源及电气附件的选用和灯具选型的有关规定 …… 524
13.3.1　光源选择 …… 524
13.3.2　照明灯具及其附属装置选择 …… 524
13.4　照明供电及照明控制的有关规定 …… 526
13.4.1　照明电压 …… 526
13.4.2　照明配电系统 …… 526
13.4.3　照明控制 …… 527
13.5　照度计算的基本方法 …… 528
13.5.1　利用系数法计算平均照度 …… 528
13.5.2　点光源的点照度计算 …… 531
13.6　照明工程节能标准及措施 …… 536
13.6.1　一般规定 …… 536
13.6.2　照明节能措施 …… 536

13.6.3 照明功率密度限值 …… 540

14 电气传动 …… 546

14.1 电气传动系统的组成及分类 …… 546
14.1.1 电动机 …… 546
14.1.2 电源装置 …… 551
14.1.3 电气传动控制系统 …… 551
14.1.4 生产机械的负载类型 …… 552
14.1.5 生产机械的工作制 …… 553
14.1.6 电动机的工作制 …… 554
14.2 电动机选择的技术要求 …… 559
14.2.1 电动机选择一般要求 …… 559
14.2.2 直流与交流电动机的比较 …… 560
14.2.3 电动机转速选择 …… 561
14.2.4 电动机电压选择 …… 562
14.2.5 电动机绝缘等级的选择 …… 563
14.2.6 电动机功率计算 …… 563
14.2.7 电动机的校验 …… 569
14.3 交、直流电动机的启动方式及启动校验 …… 572
14.3.1 电动机的启动条件 …… 572
14.3.2 异步电动机的启动方式及启动校验 …… 577
14.3.3 同步电动机的启动方式 …… 582
14.3.4 直流串励电动机的启动方式 …… 587
14.4 交、直流电动机调速技术 …… 588
14.4.1 直流电动机调速方法 …… 588
14.4.2 交流电动机调速方法 …… 603
14.5 交、直流电动机的电气制动方式及计算方法 …… 619
14.5.1 能耗制动 …… 619
14.5.2 反接制动 …… 621
14.5.3 回馈制动 …… 623
14.5.4 低频制动 …… 624
14.6 电动机保护配置及计算方法 …… 625
14.6.1 高压电动机继电保护配置及计算 …… 625
14.6.2 低压电动机保护电器配置及计算 …… 625
14.7 低压电动机控制电器的选择 …… 627
14.7.1 低压交流电动机的主回路 …… 627
14.7.2 低压交流电动机的控制回路 …… 628
14.8 电动机调速系统性能指标 …… 629
14.8.1 调速系统的静态指标 …… 629
14.8.2 调速系统的动态指标 …… 630

14.9　PLC 的应用 …… 632
14.9.1　PLC 的基本组成及工作原理 …… 632
14.9.2　PLC 的选型 …… 635

15　建筑智能化 …… 641

15.1　火灾自动报警系统及消防联动控制的设计要求 …… 641
15.1.1　火灾自动报警系统的设置原则 …… 641
15.1.2　火灾探测器的选择和设计要求 …… 645
15.1.3　消防联动控制设计 …… 649
15.1.4　漏电火灾报警系统 …… 655
15.1.5　系统设备的设置 …… 655
15.2　建筑设备监控系统的设计要求 …… 661
15.2.1　概述 …… 661
15.2.2　建筑设备监控系统的设计要求 …… 668
15.2.3　现场仪表的选择 …… 674
15.3　安全防范系统的设计要求 …… 675
15.3.1　安全防范系统的概念及要求 …… 675
15.3.2　视频监控系统 …… 677
15.3.3　入侵报警系统工程设计 …… 683
15.3.4　出入口控制系统工程的设计要求 …… 688
15.3.5　电子巡查系统 …… 695
15.3.6　停车场(场)管理系统 …… 695
15.3.7　住宅(小区)安全防范系统 …… 696
15.4　通信网络及系统的设计要求 …… 697
15.4.1　概述 …… 697
15.4.2　数字程控用户电话交换机系统 …… 698
15.4.3　数字程控调度交换机系统 …… 702
15.4.4　计算机网络系统 …… 704
15.4.5　卫星通信系统 …… 706
15.5　有线电视系统的设计要求 …… 707
15.5.1　有线电视系统 …… 707
15.5.2　卫星电视接收系统 …… 714
15.6　扩声和音响系统的设计要求 …… 715
15.6.1　常用术语 …… 715
15.6.2　厅堂扩声系统的设计 …… 717
15.6.3　公共广播系统的设计 …… 719
15.6.4　多媒体会议室与同声传译系统 …… 720
15.7　呼叫系统及公共显示装置的设计要求 …… 724
15.7.1　视频显示系统工程的分类和分级 …… 724
15.7.2　视频显示系统工程设计 …… 727

15.7.3 呼叫系统设计 …… 729
15.8 建筑物内综合布线设计要求 …… 730
15.8.1 综合布线系统的构成 …… 730
15.8.2 综合布线系统配置设计 …… 731
15.8.3 综合布线系统的主要系统指标 …… 735

参考文献 …… 744

1 安　全

1.1 工程建设标准电气专业强制性条文

1.1.1 电力工程

1.1.1.1 勘察勘测设计部分

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用

1.0.3　新建、改建和扩建的电力设施必须达到抗震设防要求。

1.0.6　电力设施应根据其抗震的重要性和特点分为重要电力设施和一般电力设施，并应符合下列规定：

1. 符合下列条款之一者为重要电力设施：

1)单机容量为300MW及以上或规划容量为800MW及以上的火力发电厂；

2)停电会造成重要设备严重破坏或危及人身安全的工矿企业的自备电厂；

3)设计容量为750MW及以上的水力发电厂；

4)220kV枢纽变电站，330～750kV变电站，330kV及以上换流站，500～750kV线路大跨越塔，±400kV及以上线路大跨越塔；

5)不得中断的电力系统的通信设施；

6)经主管部(委)批准的，在地震时必须保障正常供电的其他重要电力设施。

2. 除重要电力设施以外的其他电力设施为一般电力设施。

1.0.7　电力设施中的建(构)筑物根据其重要性分为三类，并应符合下列规定：

1. 重要电力设施中发电厂的主要建(构)筑物和输变电工程供电建(构)筑物为重点设防类，简称为乙类。

2. 一般电力设施中的主要建(构)筑物和有连续生产运行设备的建(构)筑物以及公用建(构)筑物、重要材料库为标准设防类，简称为丙类。

3. 乙、丙类以外的次要建(构)筑物为适度设防类，简称为丁类。

1.0.8 电力设施的抗震设防地震动参数或烈度必须按国家规定的权限审批、颁发的文件(图件)确定。

规范引用 《火力发电厂与变电所设计防火规范》(GB 50229—2006)

11.1.1 建(构)筑物的火灾危险性分类及其耐火等级应符合表 1-1 的规定。

表 1-1 建(构)筑物的火灾危险性分类及其耐火等级

建(构)筑物名称		火灾危险性分类	耐火等级
主控通信楼		戊	二级
继电器室		戊	二级
电缆夹层		丙	二级
配电装置楼(室)	单台设备油量 60kg 以上	丙	二级
	单台设备油量 60kg 及以下	丁	二级
	无含油电气设备	戊	二级
屋外配电装置	单台设备油量 60kg 以上	丙	二级
	单台设备油量 60kg 及以下	丁	二级
	无含油电气设备	戊	二级
油浸变压器室		丙	一级
气体或干式变压器室		丁	二级
电容器室(有可燃介质)		丙	二级
干式电容器室		丁	二级
油浸电抗器室		丙	二级
干式铁芯电抗器室		丁	二级
总事故贮油池		丙	一级
生活、消防水泵房		戊	二级
雨淋阀室、泡沫设备室		戊	二级

注:①主控通信楼当未采取防止电缆着火后延燃的措施时,火灾危险性应为丙类。

②当地下变电站、城市户内变电站将不同使用用途的变配电部分布置在一幢建筑物或联合建筑物内时,建筑物的火灾危险性分类及其耐火等级除另有防火隔离措施外,需按火灾危险性类别高者选用。

③当电缆夹层采用 A 类阻燃电缆时,其火灾危险性可为丁类。

11.1.4　变电站内各建(构)筑物及设备的防火间距不应小于表 1-2 的规定。

表 1-2　变电站内各建(构)筑物及设备的防火间距　　(m)

建(构)筑物名称			丙、丁、戊类生产建筑		屋外配电装置		可燃介质电容器(室、棚)	总事故贮油池	生活建筑	
			耐火等级		每组断路器油量/t				耐火等级	
			一、二级	三级	<1	≥1			一、二级	三级
丙、丁、戊类生产建筑	耐火等级	一、二级	10	12	—	10	10	5	10	12
		三级	12	14					12	14
屋外配电装置	每组断路器油量/t	<1	—		—		10	5	10	12
		≥1	10							
油浸变压器	单台设备油量/t	5～10	10		见《火力发电厂与变电所设计防火规范》(GB 50229—2006)第 11.1.6 条		10	5	15	20
		>10～50							20	25
		>50							25	30
可燃介质电容器(室、棚)			10		10		—	5	15	20
总事故贮油池			5		5		5	—	10	12
生活建筑	耐火等级	一、二级	10	12	10		15	10	6	7
		三级	12	14	12		20	12	7	8

注：①建(构)筑物防火间距应按相邻两建(构)筑物外墙的最近距离计算，如外墙有凸出的燃烧构件时，则应从其凸出部分外缘算起。

②相邻两座建筑两面的外墙为非燃烧体且无门窗洞口、无外露的燃烧屋檐，其防火间距可按本表减少 25%。

③相邻两座建筑较高一面的外墙如为防火墙时，其防火间距不限，但两座建筑物门窗之间的净距不应小于 5m。

④生产建(构)筑物侧墙外 5m 以内布置油浸变压器或可燃介质电容器等电气设备时，该墙在设备总高度加 3m 的水平线以下及设备外廓两侧各 3m 的范围内，不应设有门窗、洞口；建筑物外墙距设备外廓 5～10m 时，在上述范围内的外墙可设甲级防火门，设备高度以上可设防火窗，其耐火极限不应小于 0.90h。

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

9.1.7 蓄电池室内照明灯具应为防爆型,且应布置在通道的上方,地面最低照度应为30Lx,事故照明最低照度应为3Lx。

蓄电池室内照明线宜采用穿管暗敷,室内不应装设开关和插座。

9.1.10 蓄电池室内应有良好的通风设施。室内的通风换气量应按保证室内含氢量(按体积计算)低于0.7%,含酸量小于2mg/m³计算。通风电动机应为防爆式。

9.1.11 蓄电池室的门应向外开启,应采用非燃烧体或难燃烧体的实体门,门的尺寸不应小于750mm×1960mm(宽×高)。

规范引用 《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

5.4.1 爆炸性环境电缆和导线的选择应符合下列规定:

1. 在爆炸性环境内,低压电力、照明线路采用的绝缘导线和电缆的额定电压应高于或等于工作电压,且U_0/U不应低于工作电压。中性线的额定电压应与相线电压相等,并应在同一护套或保护管内敷设。

2. 在爆炸危险区内,除在配电盘、接线箱或采用金属导管配线系统内,无护套的电线不应作为供配电线路。

3. 在1区内应采用铜芯电缆;陈本质安全电路外,在2区内宜采用铜芯电缆,当采用铝芯电缆时,其截面不得小于16mm²,且与电气设备的连接应采用铜－铝过渡接头。敷设在爆炸性粉尘环境20区、21区以及在22区内有剧烈振动区域的回路,均应采用铜芯绝缘导线或电缆。

4. 除本质安全系统的电路外,爆炸性环境电缆配线的技术要求应符合表1-3的规定。

表1-3 爆炸性环境电缆配线的技术要求

项目 / 技术要求 / 爆炸危险区域	电缆明设或在沟内敷设时的最小截面			移动电源
	电力	照明	控制	
1区、20区、21区	铜芯2.5mm²及以上	铜芯2.5mm²及以上	铜芯1.0mm²及以上	重型
2区、22区	铜芯1.5mm²及以上,铝芯1.6mm²及以上	铜芯1.5mm²及以上	铜芯1.0mm²及以上	中型

5. 除本质安全系统的电路外,在爆炸性环境内电压为1000V以下的钢管配线的技术要求应符合表1-4的规定。

表1-4 爆炸性环境内电压为1000V以下的钢管配线的技术要求

项目 / 技术要求 / 爆炸危险区域	钢管配线用绝缘导线的最小截面			管子连接要求
	电力	照明	控制	
1区、20区、21区	铜芯2.5mm²及以上	铜芯2.5mm²及以上	铜芯2.5mm²及以上	钢管螺纹旋合不应少于5扣

续表

项目 / 技术要求 / 爆炸危险区域	钢管配线用绝缘导线的最小截面			管子连接要求
	电力	照明	控制	
2区、22区	铜芯2.5mm²及以上	铜芯1.5mm²及以上	铜芯1.5mm²及以上	钢管螺纹旋合不应少于5扣

6. 在爆炸性环境内，绝缘导线和电缆截面的选择除应满足表1-3和表1-4的规定外，还应符合下列规定：

1)导体允许载流量不应小于熔断器熔体额定电流的1.25倍及断路器长延时过电流脱扣器整定电流的1.25倍，本款第2项的情况除外；

2)引向电压为1000V以下鼠笼型感应电动机支线的长期允许载流量不应小于电动机额定电流的1.25倍。

7. 在架空、桥架敷设时电缆宜采用阻燃电缆。当敷设方式采用能防止机械损伤的桥架方式时，塑料护套电缆可采用非铠装电缆。当不存在会受鼠、虫等损害情形时，在2区、22区电缆沟内敷设的电缆可采用非铠装电缆。

5.4.2 爆炸性环境线路的保护应符合下列规定：

1. 在1区内单相网络中的相线及中性线均应装设短路保护，并采取适当开关同时断开相线和中性线。

2. 对3～10kV电缆线路宜装设零序电流保护，在1区、21区内保护装置宜动作于跳闸。

5.4.3 爆炸性环境电气线路的安装应符合下列规定：

1. 电气线路宜在爆炸危险性较小的环境或远离释放源的地方敷设，并应符合下列规定：

1)当可燃物质比空气重时，电气线路宜在较高处敷设或直接埋地；架空敷设时宜采用电缆桥架；电缆沟敷设时沟内应充砂，并宜设置排水措施。

2)电气线路宜在有爆炸危险的建筑物、构筑物的墙外敷设。

3)在爆炸粉尘环境，电缆应沿粉尘不易堆积并且易于粉尘清除的位置敷设。

2. 敷设电气线路的沟道、电缆桥架或导管，所穿过的不同区域之间墙或楼板处的孔洞应采用非燃性材料严密堵塞。

3. 敷设电气线路时避开可能受到机械损伤、振动、腐蚀、紫外线照射以及可能受热的地方，不能避开时，应采取预防措施。

4. 钢管配线可采用无护套的绝缘单芯或多芯导线。当钢管中含有三根或多根导线时，导线包括绝缘层的总截面不宜超过钢管截面的40%。钢管应采用低压流体输送用镀锌焊接钢管。钢管连接的螺纹部分应涂以铅油或磷化膏。在可能凝结冷凝水的地方，管线上应装设排除冷凝水的密封接头。

5. 在爆炸性气体环境内铜管配线的电气线路应做好隔离密封，且应符合下列规定：

1)在正常运行时，所有点燃源外壳的450mm范围内应做隔离密封。

2)直径50mm以上钢管距引入的接线箱450mm以内处应做隔离密封。

3)相邻的爆炸性环境之间以及爆炸性环境与相邻的其他危险环境或非危险环境之间应进行隔离密封。进行密封时，密封内部应用纤维作填充层的底层或隔层，填充层的有效厚度

不应小于钢管的内径,且不得小于16mm。

4)供隔离密封用的连接部件,不应作为导线的连接或分线用。

6. 在1区内电缆线路严禁有中间接头,在2区、20区、21区内不应有中间接头。

7. 当电缆或导线的终端连接时,电缆内部的导线如果为绞线,其终端应采用定型端子或接线鼻子进行连接。

铝芯绝缘导线或电缆的连接与封端应采用压接、熔焊或钎焊,当与设备(照明灯具除外)连接时,应采用铜-铝过渡接头。

8. 架空电力线路不得跨越爆炸性气体环境,架空线路与爆炸性气体环境的水平距离不应小于杆塔高度的1.5倍。在特殊情况下,采取有效措施后,可适当减小距离。

5.5.1 当进行爆炸性环境电力系统接地设计时,1000V交流/1500V直流以下的电源系统的接地应符合下列规定:

1. 爆炸性环境中的TN系统应采用TN-S型。

2. 危险区中的TT型电源系统应采用剩余电流动作的保护电器。

3. 爆炸性环境中的IT型电源系统应设置绝缘监测装置。

5.5.2 爆炸性气体环境中应设置等电位联结,所有裸露的装置外部可导电部件均应接入等电位系统。本质安全型设备的金属外壳可不与等电位系统连接,制造厂有特殊要求的除外。具有阴极保护的设备不应与等电位系统连接,专门为阴极保护设计的接地系统除外。

5.5.3 爆炸性环境内设备的保护接地应符合下列规定:

1. 按照现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)的有关规定,下列不需要接地的部分,在爆炸性环境内仍应进行接地:

1)在不良导电地面处,交流额定电压为1000V以下和直流额定电压为1500V及以下的设备正常不带电的金属外壳;

2)在干燥环境,交流额定电压为127V及以下,直流电压为110V及以下的设备正常不带电的金属外壳;

3)安装在已接地的金属结构上的设备。

2. 在爆炸危险环境内,设备的外露可导电部分应可靠接地。爆炸性环境1区、20区、21区内的所有设备以及爆炸性环境2区、22区内除照明灯具以外的其他设备直接采用专用的接地线。该楼地线与相线敷设在同一保护管内时,应具有与相线相等的绝缘。爆炸性环境2区、22区内的照明灯具,可利用有可靠电气连接的金属管线系统作为接地线,但不得利用输送可燃物质的管道。

3. 在爆炸危险区域不同方向,接地干线应不少于两处与接地体连接。

5.5.4 设备的接地装置与防止直接雷击的独立避雷针的接地装置应分开设置,与装设在建筑物上防止直接雷击的避雷针的接地装置可合并设置,与防雷电感应的接地装置亦可合并设置。接地电阻值应取其中最低值。

5.5.5 0区、20区场所的金属部件不宜采用阴极保护,当采用阴极保护时,应采取特殊的设计。阴极保护所要求的绝缘元件应安装在爆炸性环境之外。

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

规范引用

参考第12章相关内容。

1.1.1.2 输变电工程部分

《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)

规范引用

3.0.1 电力负荷应根据对供电可靠性的要求及中断供电在对人身安全、经济损失上所造成的影响程度进行分级,并应符合下列规定:

1. 符合下列情况之一时,应视为一级负荷。

1)中断供电将造成人身伤害。

2)中断供电将在经济上造成重大损失。

3)中断供电将影响重要用电单位的正常工作。

2. 在一级负荷中,当中断供电将造成人身伤亡或重大设备损坏或发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,应视为一级负荷中特别重要的负荷。

3. 符合下列情况之一时,应视为二级负荷。

1)中断供电将在经济上造成较大损失。

2)中断供电将影响较重要用电单位的正常工作。

4. 不属于一级和二级负荷者应为三级负荷。

3.0.2 一级负荷应由双重电源供电,当一电源发生故障时,另一电源不应同时受到损坏。

3.0.3 一级负荷中特别重要的负荷供电,应符合下列要求:

1. 除由两个电源供电外,还应增设应急电源,并严禁将其他负荷接入应急供电系统。

2. 设备的供电电源的切换时间,应满足设备允许中断供电的要求。

3.0.4 应急电源与正常电源之间,应采取防止并列运行的措施。当有特殊要求,应急电源向正常电源转换需短暂并列运行时,应采取安全运行的措施。

3.0.9 备用电源的负荷严禁接入应急供电系统。

《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)

规范引用

2.0.6 露天或半露天的变电所,不应设置在下列场所:

1. 有腐蚀性气体的场所;

2. 挑檐为燃烧体或难燃体和耐火等级为四级的建筑物旁;

3. 附近有棉、粮及其他易燃、易爆物品集中的露天堆场;

4. 容易沉积可燃粉尘、可燃纤维、灰尘或导电尘埃且会严重影响变压器安全运行的场所。

4.2.1 室内、外配电装置的最小电气安全净距应符合表1-5的规定。

表1-5 室内、外配电装置的最小电气安全净距 (mm)

监控项目	场所	额定电压/kV						符号
		≤1	3	6	10	15	20	
无遮栏裸带电部分至地(楼)面之间	室内	2500	2500	2500	2500	2500	2500	—
	室外	2500	2700	2700	2700	2800	2800	

续表

监控项目	场所	额定电压/kV						符号
		≤1	3	6	10	15	20	
裸带电部分至接地部分和不同的裸带电部分之间	室内	20	75	100	125	150	180	A
	室外	75	200	200	200	300	300	
距地面2500mm以下的遮栏防护等级为IP2X时,裸带电部分与遮护物间水平净距	室内	100	175	200	225	250	280	B
	室外	175	300	300	300	400	400	
不同时停电检修的无遮栏裸导体之间的水平距离	室内	1875	1875	1900	1925	1950	1980	—
	室外	2000	2200	2200	2200	2300	2300	
裸带电部分至无孔固定遮栏	室内	50	105	130	155	—	—	—
裸带电部分至用钥匙或工具才能打开或拆卸的栅栏	室内	800	825	850	875	900	930	C
	室外	825	950	950	950	1050	1050	
高低压引出线的套管至户外通道地面	室外	3650	4000	4000	4000	4000	4000	—

注:①海拔高度超过1000m时,表中符号A后的数值应按每升高100m增大1%进行修正,符号B、C后的数值应加上符号A的修正值;

②裸带电部分的遮拦高度不小于2.2m。

4.2.2 露天或半露天变电所的变压器四周应设高度不低于1.5m的固定围栏或围墙,变压器外廓与围栏或围墙的净距不应小于0.5m,变压器底部距地面不应小于0.3m。油重小于1000kg的相邻油浸变压器外廓之间的净距不应小于1.5m;油重1000～2500kg的相邻油浸变压器外廓之间的净距不应小于3.0m;油重大于2500kg的相邻油浸变压器外廓之间的净距不应小于5m;当不能满足上述要求时,应设置防火墙。

4.2.5 设置在变电所内的非封闭式干式变压器,应装设高度不低于1.8m的固定围栏,围栏网孔不应大于40mm×40mm。变压器的外廓与围栏的净距不宜小于0.6m,变压器之间的净距不应小于1.0m。

6.1.1 变压器室、配电室和电容器室的耐火等级不应低于二级。

6.1.2 位于下列场所的油浸变压器室的门应采用甲级防火门:

1. 有火灾危险的车间内;

2. 容易沉积可燃粉尘、可燃纤维的场所;

3. 附近有粮、棉及其他易燃物大量集中的露天堆场;

4. 民用建筑物内,门通向其他相邻房间;

5. 油浸变压器室下面有地下室。

6.1.5 当露天或半露天变电所安装油浸变压器,且变压器外廓与生产建筑物外墙的距离小于5m时,建筑物外墙在下列范围内不得有门、窗或通风孔:

1. 油量大于1000kg时,在变压器总高度加3m及外廓两侧各加3m的范围内;

2. 油量小于或等于1000kg时,在变压器总高度加3m及外廓两侧各加1.5m的范围内。

6.1.6 高层建筑物的裙房和多层建筑物内的附设变电所及车间内变电所的油浸变压

器室，应设置容量为100%变压器油量的储油池。

6.1.7 当设置容量不低于20%变压器油量的挡油池时，应有能将油排到安全场所的设施。位于下列场所的油浸变压器室，应设置容量为100%变压器油量的储油池或挡油设施：

1. 容易沉积可燃粉尘、可燃纤维的场所；

2. 附近有粮、棉及其他易燃物大量集中的露天场所；

3. 油浸变压器室下面有地下室。

6.1.9 在多层建筑物或高层建筑物裙房的首层布置油浸变压器的变电站时，首层外墙开口部位的上方应设置宽度不小于1.0m的不燃烧体防火挑檐或高度不小于1.2m的窗槛墙。

规范引用 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

4.1.3 配电室内除本室需用的管道外，不应有其他的管道通过。室内水、汽管道上不应设置阀门和中间接头；水、汽管道与散热器的连接应采用焊接，并应做等电位联结。配电屏的上、下方及电缆沟内不应敷设水、汽管道。

4.2.2 高压及低压配电设备设在同一室内，且二者有一侧柜顶有裸露的母线时，两者之间的净距不应小于2m。

4.2.4 成排布置的配电屏，其长度超过6m时，屏后的通道应设两个出口，并宜布置在通道的两端；当两出口之间的距离超过15m时，其间应增加出口。

4.2.5 当防护等级不低于现行国家标准《外壳防护等级(IP代码)》(GB 4208—2008)规定的IP2X级时，成排布置的配电屏通道最小宽度应符合表1-6的规定。

表1-6 配电屏前后的通道的最小宽度 (m)

配电屏种类		单排布置			双排面对面布置			双排背对背布置			多排同向布置			屏侧通道
		屏前	屏后		屏前	屏后		屏前	屏后		屏间	前、后排屏距墙		
			维护	操作		维护	操作		维护	操作		前排屏前	后排屏后	
固定式	不受限制时	1.5	1.0	1.2	2.0	1.0	1.2	1.5	1.5	2.0	2.0	1.5	1.0	1.0
	受限制时	1.3	0.8	1.2	1.8	0.8	1.2	1.3	1.3	2.0	1.8	1.3	0.8	0.8
抽屉式	不受限制时	1.8	1.0	1.2	2.3	1.0	1.2	1.8	1.0	2.0	2.3	1.8	1.0	1.0
	受限制时	1.6	0.8	1.2	2.1	0.8	1.2	1.6	0.8	2.0	2.1	1.6	0.8	0.8

注：①受限制时是指受到建筑平面的限制、通道内有柱等局部突出物的限制；

②屏后操作通道是指需在屏后操作运行中的开关设备的通道；

③背靠背布置时屏前通道宽度可按本表中双排背对背布置的屏前尺寸确定；

④控制屏、控制柜、落地式动力配电箱前后的通道最小宽度可按本表确定；

⑤挂墙式配电箱的箱前操作通道宽度，不宜小于1m。

4.2.6 配电室通道上方裸带电体距地面的高度不应低于2.5m；当低于2.5m时，应设置不低于国家标准《外壳防护等级(IP代码)》(GB 4208—2008)规定的IP××B或IP2×级的遮栏或外护物，遮栏或外护物底部距地面的高度不应低于2.2m。

4.3.2 配电室长度超过7m时，应设两个出口，并宜布置在配电室的两端。当配电室双层布置时，楼上配电室的出口应至少设一个通向该层走廊或室外的安全出口。配电室的门均应向外开启，但通向高压配电室的门应为双向开启门。

规范引用 《35kV～110kV变电所设计规范》(GB 50059—2011)

4.1.4 建筑物、构筑物的安全等级均不应低于二级,相应的结构重要性系数不应小于1.0。

4.2.4 房屋建筑的楼面、屋面活荷载及有关系数的取值,不应低于表1-7所列的数值。当设备及运输工具的荷载标准值大于表1-7的数值时,应按实际荷载进行设计。

表1-7 建筑物均布活荷载及有关系数

序号	类别	标准值/(kN/m²)	组合值系数 ψ_c	频遇值系数 ψ_f	准永久值系数 ψ_q	计算主梁、柱及基础的折减系数	备注
1	不上人屋面	0.5	0.7	0.5	0	1.0	—
2	上人屋面	2.0	0.7	0.5	0.4	1.0	—
3	主控制室、继电器室及通信室的楼面	4.0	1.0	0.9	0.8	0.7	电缆层的电缆系吊在主控制室或继电器室的楼板上时,应按实际荷载计算
4	主控制楼电缆层楼面	3.0	1.0	0.9	0.8	0.7	—
5	电容器室楼面	4.0～9.0	1.0	0.9	0.8	0.7	—
6	屋内6kV、10kV配电装置开关层楼面	4.0～7.0	1.0	0.9	0.8	0.7	用于每组开关重量≤8kN,无法满足时,应按实际荷载计算
7	屋内35kV配电装置开关层楼面	4.0～8.0	1.0	0.9	0.8	0.7	用于每组开关重量≤12kN,无法满足时,应按实际荷载计算
8	屋内110kV配电装置开关层楼面	4.0～10.0	1.0	0.9	0.8	0.7	用于每组开关重量≤36kN,无法满足时,应按实际荷载计算
9	屋内110kV GIS组合电器楼面	10.0	1.0	0.9	0.8	0.7	—
10	办公室及宿舍楼面	2.5	0.7	0.6	0.5	0.85	—
11	楼梯	2.5	0.7	0.6	0.5	—	—
12	室内沟盖板	4.0	0.7	0.6	0.5	1.0	搬运设备需通过盖板时,应按实际荷载计算

注:①序号6、7、8也适用于成套柜情况。对3kV、6kV、10kV、35kV、110kV配电装置区以外的楼面活荷载标准值可采用4.0kN/m²。

②运输通道按运输的最重设备计算。

③准永久值系数仅在计算正常使用极限状态的长期效应组合时使用。

规范引用 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

5.1.9 在隧道、沟、浅槽、竖井、夹层等封闭式电缆通道中，不得布置热力管道，严禁有易燃气体或易燃液体的管道穿越。

5.3.5 直埋敷设的电缆，严禁位于地下管道的正上方或正下方。

电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离，应符合表 1-8 的规定。

表 1-8 电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离 (m)

电缆直埋敷设时的配置情况		平行	交叉
控制电缆之间		—	0.5①
电力电缆之间或与控制电缆之间	10kV 及以下电力电缆	0.1	0.5①
	10kV 以上电力电缆	0.25②	0.5①
不同部门使用的电缆		0.5②	0.5①
电缆与地下管沟	热力管沟	2③	0.5①
	油管或易(可)燃气管道	1	0.5①
	其他管道	0.5	0.5①
电缆与铁路	非直流电气化铁路路轨	3	1.0
	直流电气化铁路路轨	10	1.0
电缆与建筑物基础		0.6③	—
电缆与公路边		1.0③	—
电缆与排水沟		1.0③	—
电缆与树木的主干		0.7	—
电缆与 1kV 以下架空线电杆		1.0③	—
电缆与 1kV 以上架空线电杆塔基础		4.0③	—

注：①用隔板分隔或电缆穿管时不得小于 0.25m。

②用隔板分隔或电缆穿管时不得小于 0.1m。

③特殊情况时，减小值不得大于 50%。

规范引用 《变电所总布置设计技术规程》(DL/T 5056—2007)

6.1.1 变电站的站区场地设计标高应根据变电站的电压等级确定。

220kV 枢纽变电站及 220kV 以上电压等级的变电站，站区场地设计标高应高于频率为 1%(重现期，下同)的洪水水位或历史最高内涝水位；其他电压等级的变电站站区场地设计标高应高于频率为 2%的洪水水位或历史最高内涝水位。

当站区场地设计标高不能满足上述要求时，可区别不同的情况分别采取以下三种不同的措施。

1. 对场地标高采取措施时，场地设计标高应不低于洪水水位或历史最高内涝水位。

2. 对站区采取防洪或防涝措施时，防洪或防涝设施标高应高于上述洪水水位或历史最高内涝水位标高 0.5m。

3. 采取可靠措施，使主要设备底座和生产建筑物室内地坪标高不低于上述高水位。

沿江、河、湖、海等受风浪影响的变电站，防洪设施标高还应考虑频率为 2%的风浪高和

0.5m 的安全超高。

4. 变电站站内场地设计标高宜高于或局部高于站外自然地面,以满足站区场地排水要求。

《35～110kV 无人值班变电站设计规程》(DL/T 5103—2012)

规范引用

3.1.9 站址设计标高应根据变电站的电压等级确定。

1.35～110kV 变电站站址标高宜高于频率为 2%高水位。当不能满足上述要求时,站区应有可靠的防洪措施或与地区(工业企业)的防洪标准相一致,但仍应高于最高内涝水位。

2.220kV 变电站站址标高宜高于频率为 1%高水位,或最高内涝水位。当不能满足上述要求时,站区应有可靠的防洪措施,防洪设施标高应高于上述高水位标高 0.5m;位于内涝地区的变电站,防洪设施标高应高于历史最高内涝水位标高 0.5m,也可采取措施使主要设备底座和生产建筑的室内地坪高度不低于上述高水位。

5.5.2 生活污水处理设施(化粪池)与卫生间距离不宜超过 5.0m。

7.4.1 变电站噪声对周围环境的影响必须符合现行国家标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》(GB 12348—2008)和《声环境质量标准》(GB 3096—2008)的规定。

变电站噪声应从声源上进行控制,宜选用低噪声设备。

7.4.2 变电站采暖通风设备在断电恢复供电时,应具备自动启动功能。变电站户内布置含 SF_6 气体设备时,宜装设 SF_6 及氧气含量检测装置。

《66kV 及以下架空电力线路设计规范》(GB 50061—2010)

规范引用

4.0.11 最大设计风速应采用当地空旷平坦地面上离地 10m 高,统计所得 30 年一遇 10min 平均最大风速;当无可靠资料时,最大设计风速不应低于 23.5m/s,并应符合下列规定。

1. 山区架空电力线路的最大设计风速,应根据当地气象资料确定;当无可靠资料时,最大设计风速可按附近平地风速增加 10%,且不应低于 25m/s。

2. 架空电力线路位于河岸、湖岸、山峰以及山谷口等容易产生强风的地带时,其最大基本风速应较附近一般地区适当增大;对易覆冰、风口、高差大的地段,宜缩短耐张段长度,杆塔使用条件应适当留有裕度。

3. 架空电力线路通过市区或森林等地区时,两侧屏蔽物的平均高度大于杆塔高度的 2/3,其最大设计风速宜比当地最大设计风速减少 20%。

5.2.3 导线或地线的最大使用张力不应大于绞线瞬时破坏张力的 40%。

6.0.9 海拔高度为 1000m 以下的地区,35kV 和 66kV 架空电力线路带电部分与杆塔构件、拉线、脚钉的最小间隙,应符合表 1-9 的规定。

表 1-9 带电部分与杆塔构件、拉线、脚钉的最小间隙 (m)

工况	最小间隙	
	线路电压 35kV	线路电压 66kV
雷电过电压	0.45	0.65
内部过电压	0.25	0.50
运行电压	0.10	0.20

6.0.10 海拔高度为1000m及以上的地区，海拔高度每增高100m，内部过电压和运行电压的最小间隙应按表1-9所列数值增加1%。

6.0.11 3～10kV架空电力线路的引下线与过3kV以下线路导线之间的距离不宜小于0.2m。10kV及以下架空电力线路的过引线、引下线与邻相导线之间的最小间隙应符合表1-10的规定。采用绝缘导线的架空电力线路，其最小间隙可结合地区运行经验确定。

表1-10 过引线、引下线与邻相导线之间的最小间隙 (m)

线路电压	最小间隙
3～10kV	0.3
3kV以下	0.15

6.0.12 10kV及以下架空电力线路的导线与杆塔构件、拉线之间的最小间隙应符合表1-11的规定。采用绝缘导线的架空电力线路，其最小间隙可结合地区运行经验确定。

表1-11 导线与杆塔构件、拉线之间的最小间隙 (m)

线路电压	最小间隙
3～10kV	0.2
3kV以下	0.05

6.0.13 带电作业杆塔的最小间隙应符合下列要求。

1. 带电部分与接地部分的最小间隙，在海拔高度1000m以下的地区，应符合表1-12的规定。

2. 对操作人员需要停留工作的部位，应增加0.3～0.5m。

表1-12 带电作业杆塔带电部分与接地部分的最小间隙 (m)

线路电压	10kV	35kV	66kV
最小间隙	0.4	0.6	0.7

12.0.7 导线与地面的最小距离，在最大计算弧垂情况下，应符合表1-13的规定。

表1-13 导线与地面的最小距离 (m)

线路经过区域	最小距离		
	线路电压3kV以下	线路电压3～10kV	线路电压35～66kV
人口密集地区	6.0	6.5	7.0
人口稀少地区	5.0	5.5	6.0
交通困难地区	4.0	4.5	5.0

12.0.8 导线与山坡、峭壁、岩石之间的最小距离，在最大计算风偏情况下，应符合表1-14的规定。

表1-14 导线与山坡、峭壁、岩石间的最小距离 (m)

线路经过地区	最小距离		
	线路电压3kV以下	线路电压3～10kV	线路电压35～66kV
步行可以到达的山坡	3.0	4.5	5.0
步行不能到达的山坡、峭壁、岩石	1.0	1.5	3.0

12.0.9 导线与建筑物之间的垂直距离，在最大计算弧垂情况下，应符合表1-15的

规定。

表 1-15 导线与建筑物间的最小垂直距离 (m)

线路电压	3kV 以下	3～10kV	35kV	66kV
距离	2.5	3.0	4.0	5.0

12.0.10 架空电力线路在最大计算风偏情况下,边导线与城市多层建筑或城市规划建筑物间的最小水平距离,以及边导线与不在规划范围内的城市建筑物间的最小距离,应符合表 1-16 的规定。架空电力线路边导线与不在规划范围内的城市建筑物间的水平距离,在无风偏情况下,不应小于表 1-16 所列数值的 50%。

表 1-16 边导线与建筑物间的最小垂直距离 (m)

线路电压	3kV 以下	3～10kV	35kV	66kV
距离	1.0	1.5	3.0	4.0

12.0.11 导线与树木(考虑自然生长高度)之间的最小垂直距离,应符合表 1-17 的规定。

表 1-17 导线与树木之间的最小垂直距离 (m)

线路电压	3kV 以下	3～10kV	35～66kV
距离	3.0	3.0	4.0

12.0.12 导线与公园、绿化区或防护林带的树木之间的最小距离,在最大计算风偏情况下,应符合表 1-18 的规定。

表 1-18 导线与公园、绿化区或防护林带的树木之间的最小距离 (m)

线路电压	3kV 以下	3～10kV	35～66kV
距离	3.0	3.0	3.5

12.0.13 导线与果树、经济作物或城市灌木之间的最小垂直距离,在最大计算弧垂情况下,应符合表 1-19 的规定。

表 1-19 导线与果树、经济作物或城市绿化灌木之间的最小垂直距离 (m)

线路电压	3kV 以下	3～10kV	35～66kV
距离	1.5	1.5	3.0

12.0.14 导线与街道行道树之间的最小距离,应符合表 1-20 的规定。

表 1-20 导线与街道行道树之间的最小距离 (m)

检验状况	最小距离		
	线路电压 3kV 以下	线路电压 3～10kV	线路电压 35～66kV
最大计算弧垂情况下的垂直距离	1.0	1.5	3.0
最大计算风偏情况下的水平距离	1.0	2.0	3.5

16)架空电力线路与铁路、道路、河流、管道、索道及各种架空线路交叉或接近的要求,应符合表 1-21 的规定。

表 1-21　架空电力线路与铁路、道路、河流、管道、索道及各种架空线路交叉或接近的要求

项目		铁路			公路和道路	电车道（有轨及无轨）		通航河流		不通航河流		架空明线弱电线路	电力线路	特殊管道	一般管道、索道
导线或地线在跨越档接头		标准轨距：不得接头 带轨：不限制			高速公路和一、二级公路及城市一、二级道路：不得接头 三、四级公路和城市三级道路：不限制	不得接头		不得接头		不限制		一、二级：不得接头 三级：不限制	35kV及以上：不得接头 10kV及以下：不限制	不得接头	不得接头
交叉档导线最小截面		35kV及以上采用钢芯铝绞线35mm²； 10kV及以下采用铝绞线或铝合金线为35mm² 其他导线为16mm²						—							
交叉档距绝缘子固定方式		双固定			高速公路和一、二级公路及城市一、二级道路为双固定	双固定		双固定		不限制		10kV及以下线路一、二级为双固定	10kV线路跨6～10kV线路为双固定	双固定	双固定
最小垂直距离/m	线路电压	至标准轨顶	至窄轨轨顶	至承力索或接触线	至路面	至路面	至承力索或接触线	至常年高水位	至最高航行水位的最高船桅杆	至最高洪水位	冬季至冰面	至被跨越线	至被跨越线	至管道任何部分	至索道任何部分
	35～66kV	7.5	7.5	3.0	7.0	10.0	3.0	6.0	2.0	3.0	5.0	3.0	3.0	4.0	3.0
	10～35kV	7.5	6.0	3.0	7.0	9.0	3.0	6.0	1.5	3.0	5.0	2.0	2.0	3.0	2.0
	3kV～以下	7.5	6.0	3.0	6.0	9.0	3.0	6.0	1.0	3.0	5.0	1.0	1.0	1.5	1.5

续表

项目		铁路		公路和道路			电车道(有轨及无轨)		通航河流	不通航河流	架空明线弱电线路		电力线路		特殊管道	一般管道、索道
最小水平距离/m	线路电压	杆塔外缘至轨道中心		杆塔外缘至路基边缘			杆塔外缘至路基边缘		边导线至斜坡上缘(线路与拉杆小路平行)		边导线间		至被跨越线		边导线至管道、索道任何部分	
		交叉	平行	开阔地区	路径受限制地区	市区内	开阔地区	路径受限制地区			开阔地区	路径受限制地区	开阔地区	路径受限制地区	开阔地区	路径受限制地区
	35～66kV	30	最高杆(塔)高加3m	交叉：8.0 平行：最高杆塔高	5.0	0.5	交叉：8.0 平行：最高杆塔高	5.0	最高杆(塔)高		最高杆(塔)高	4.0	最高杆(塔)高	5.0	最高杆(塔)高	4.0
	10kV～35kV	5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5				2.0		2.5		2.0
	3kV以下	5		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5				1.0		2.5		1.5
其他要求		35～66kV不宜在铁路出站信号机以内跨越		在不受环境和规划限制的地区架空电力线路与围道的距离不宜小于20m，省道不宜小于15m，县道不宜小于10m，乡道不宜小于5m			—		最高洪水位时，有抗洪抢险船只航行的河流，垂直距离应协商确定		电力线应架设在上方；交叉点应尽量靠近杆塔，但不应小于7m(市区除外)		电压高的线路应架设在电压低的线路上方；电压相等时公用线应在专用线上方		与索道交叉，如索道在上方、下方索道应装设保护措施；交叉点不应选在管道检查井处；与管道、索道平行、交叉时，管道、索道应接地	

注：①特殊管道指设在地面上输送易燃、易爆物的管道；

②管道、索道上的附属设备，应视为管道、索道的一部分；

③常年高水位是指5年一遇洪水位，最高洪水位对35kV及以上架空电力线路是指百年一遇洪水位，对10kV及以下架空电力线路是指50年一遇洪水位；

④不能通航河流指不能通航、也不能浮运的河流；

⑤对路径受限制地区的最小水平距离的要求，应计及架空电力线路导线的最大风偏；

⑥对电气化铁路的安全距离主要是电力线导线与承力索和接触线的距离控制，因此，对电气化铁路轨顶的距离按实际情况确定。

规范引用 《输电线路对电信线路危险和干扰影响防护设计规程》(DL/T 5033—2006)

7.1.1 当输电线路对电信线路产生的危险影响电压超过允许值时，应根据具体情况，通过技术经济比较和协商，采取必要的防护措施，以保证人身和电信设备安全。可选用的防护措施如下。

1. 输电线路方面。

1)与电信线路保持合理的间距和交叉角。

2)采用良导体地线。

3)增设屏蔽线。

4)限制单相接地短路电流，如尽可能减少变压器中性点接地总数等。

5)缩短接地故障时间。

6)降低杆塔接地装置的接地电阻。

7)杆塔接地装置远离埋地电缆、埋地光缆方向敷设。

2. 电信线路方面。

1)在明线上加装放电器等保安设备。

2)配备携带保安器。

3)增设屏蔽线。

4)改迁电信线路路径。

5)改明线为电缆或光缆。

6)采用屏蔽电缆或高屏蔽电缆以及提高电缆屏蔽效应的措施。

7)电缆上加装电缆保安器。

8)架空电缆、架空光缆吊线间隔一定距离接地。

9)光缆线路接头处，金属构件不作电气连通，缩短光缆线路金属构件长度。

10)输电线路杆塔接地装置附近，电缆、光缆金属构件避免接地。

11)在输电线路接地装置与埋地电缆、埋地光缆间增设消弧线。

12)在接近输电线路地段进行施工或检修时，电缆、光缆的金属构件应临时接地。

13)采用无金属光缆。

14)采用无线中继线路。

规范引用 《架空绝缘配电线路设计技术规程》(DL/T 601—1996)

5.2 绝缘导线及悬挂绝缘导线的钢绞线的设计安全系数均不应小于3。

5.6 悬挂绝缘线的钢绞线的自重荷载应包括绝缘线、钢绞线、绝缘支架质量及200kg施工荷重。钢绞线的最小截面不应小于50mm^2。

5.7 绝缘导线的连接应符合下列要求。

5.7.1 不同金属、不同规格、不同绞向的导线及无承力线的集束线严禁在档距内连接。

5.7.2 在一个档距内，每根导线不应超过一个承力接头。

5.7.3 接头距导线的固定点不应小于500mm。

6.3.3 绝缘支架的安全系数不应小于5,绝缘拉棒的破坏拉力不小于导线计算拉断力的90%。且绝缘支架及绝缘拉棒的破坏应力均应满足最大短路电动力的要求。

10.3 柱上开关应装设防雷装置,经常开路运行的柱上开关两侧均应装设防雷装置,其接地装置的接地电阻不应大于10Ω。开关金属外壳应接地,接地电阻不大于10Ω。

10.4 配电变压器应装设防雷装置,该防雷装置应尽量靠近变压器,其接地线应与变压器二次绕组中性点及变压器的金属外壳相连接。

10.7 中性点直接接地的低压绝缘线的零线,应在电源点接地。在干线和分支线的终端处,应将零线重复接地。

三相四线供电的低压绝缘线在引入用户处,应将零线重复接地。

10.10 接地体的埋设深度不应小于0.6m,接地体不应与地下燃气管、送水管接触。

11.5 绝缘接户线受电端的对地面距离,不应小于下列数值:

1)中压,4m;

2)低压,2.5m。

11.6 跨越街道的低压绝缘接户线,至路面中心的垂直距离,不应小于下列数值:

1)通车街道,6m;

2)通车困难的街道、人行道,3.5m;

3)胡同(里、弄、巷),3m。

11.8 低压绝缘接户线与建筑物有关部分的距离,不应小于下列数值:

1)与接户线下方窗户的垂直距离,0.3m;

2)与接户线上方阳台或窗户的垂直距离,0.8m;

3)与阳台或窗户的水平距离,0.75m;

4)与墙壁、构架的距离,0.05m。

11.9 低压绝缘接户线与弱电线路的交叉距离,不应小于下列数值:

1)低压接户线在弱电线路的上方,0.6m;

2)低压接户线在弱电线路的下方,0.3m。

如不能满足上述要求,应采取隔离措施。

11.14 不同金属、不同规格、不同绞向的接户线,严禁在档距内连接。

跨越通车街道的接户线,不应有接头。

12.2 绝缘导线与地面或水面的最小距离见表1-22。

表1-22 绝缘导线与地面或水面的最小距离 (m)

线路经过地区	线路电压	
	中压	低压
居民区	6.5	6.0
非居民区	5.5	5.0
不能通航也不能浮运的河、湖(至冬季水面)	5.0	5.0
不能通航也不能浮运的河、湖(至50年一遇洪水面)	3.0	3.0

12.3 绝缘配电线路应尽量不跨越建筑物,如需跨越,导线与建筑物的垂直距离在最大计算弧垂情况下,不应小于下列数据:

1)中压,2.5m;

2)低压,2.0m。

线路边线与永久建筑物之间的距离在最大风偏的情况下,不应小于下列数值:

1)中压,0.75m(人不宜接近时可为 0.4m);

2)低压,0.2m。

12.6 绝缘配电线路与甲类火灾危险性的生产厂房,甲类物品库房,易燃、易爆材料堆场,以及可燃或易燃、易爆液(气)体贮罐的防火间距,不应小于杆塔高度的 1.5 倍。

1.1.2 房屋建筑

1.1.2.1 电器防火、消防电源与应急照明部分强制性条文

《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)





5.4.2 燃油或燃气锅炉、油浸电力变压器、充有可燃油的高压电容器和多油开关等用房受条件限制必须布置在民用建筑内时,不应布置在人员密集场所的上一层、下一层或贴邻,并应符合下列规定:

1. 燃油和燃气锅炉房、变压器室应设置在首层或地下一层靠外墙部位,但常(负)压燃油、燃气锅炉可设置在地下二层,当常(负)压燃气锅炉距安全出口的距离大于 6.0m 时,可设置在屋顶上。

燃油锅炉应采用丙类液体作燃料。采用相对密度(与空气密度的比值)大于等于 0.75 的可燃气体为燃料的锅炉,不得设置在地下或半地下建筑(室)内。

2. 锅炉房、变压器室的门均应直通室外或直通安全出口;外墙开口部位的上方应设置宽度不小于 1.0m 的不燃烧体防火挑檐或高度不小于 1.2m 的窗槛墙。

3. 锅炉房、变压器室与其他部位之间应采用耐火极限不低于 2.00h 的不燃烧体隔墙和 1.50h 的不燃烧体楼板隔开。在隔墙和楼板上不应开设洞口,当必须在隔墙上开设门窗时,应设置甲级防火门窗。

4. 当锅炉房内设置储油间时,其总储存量不应大于 $1m^3$,且储油间应采用防火墙与锅炉间隔开;当必须在防火墙上开门时,应设置甲级防火门。

5. 变压器室之间、变压器室与配电室之间,应采用耐火极限不低于 2.00h 的不燃烧体墙隔开。

6. 油浸电力变压器、多油开关室、高压电容器室,应设置防止油品流散的设施。油浸电力变压器下面应设置储存变压器全部油量的事故储油设施。

7. 锅炉的容量应符合现行国家标准《锅炉房设计规范》(GB 50041—2008)的有关规定。油浸电力变压器的总容量不应大于 1260kVA,单台容量不应大于 630kVA。

8. 应设置火灾报警装置。

9. 应设置与锅炉、油浸变压器容量和建筑规模相适应的灭火设施。

10. 燃气锅炉房应设置防爆泄压设施,燃气、燃油锅炉房应设置独立的通风系统,并应符合《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)第 10 章的有关规定。

11.1.1 建筑物、储罐(区)、堆场的消防用电设备,其电源应符合下列规定:

1. 除粮食仓库及粮食筒仓工作塔外,建筑高度大于 50.0m 的乙、丙类厂房和丙类仓库的消防用电应按一级负荷供电。

2. 下列建筑物、储罐(区)和堆场的消防用电应按二级负荷供电。

1)室外消防用水量大于30L/s的工厂、仓库;

2)室外消防用水量大于35L/s的可燃材料堆场、可燃气体储罐(区)和甲、乙类液体储罐(区);

3)座位数超过1500个的电影院、剧院,座位数超过3000个的体育馆,任一层建筑面积大于3000m²的商店、展览建筑,省(市)级及以上的广播电视楼、电信楼和财贸金融楼,室外消防用水量大于25L/s的其他公共建筑。

3. 除本条第1、2款外的建筑物、储罐(区)和堆场等的消防用电可采用三级负荷供电。

4. 消防电源的负荷分级应符合现行国家标准《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)的有关规定。

11.1.4 消防用电设备应采用专用的供电回路,当生产、生活用电被切断时,应仍能保证消防用电。其配电设备应有明显标志。

11.1.6 消防用电设备的配电线路应满足火灾时连续供电的需要,其敷设应符合下列规定:

1. 暗敷时,应穿管并应敷设在不燃烧体结构内且保护层厚度不应小于30mm;明敷时(包括敷设在吊顶内),应穿金属管或封闭式金属线槽,并应采取防火保护措施。

2. 当采用阻燃或耐火电缆时,敷设在电缆井、电缆沟内可不采取防火保护措施。

3. 当采用矿物绝缘类不燃性电缆时,可直接明敷。

4. 宜与其他配电线路分开敷设;当敷设在同一井沟内时,宜分别布置在井沟的两侧。

11.2.1 甲类厂房、甲类仓库,可燃材料堆垛,甲、乙类液体储罐,液化石油气储罐,可燃、助燃气体储罐与架空电力线的最近水平距离不应小于电杆(塔)高度的1.5倍,丙类液体储罐与架空电力线的最近水平距离不应小于电杆(塔)高度的1.2倍。

35kV以上的架空电力线与单罐容积大于200m³或总容积大于1000m³的液化石油气储罐(区)的最近水平距离不应小于40.0m,当储罐为地下直埋式时,架空电力线与储罐的最近水平距离可减小50%。

11.2.4 开关、插座和照明灯具靠近可燃物时,应采取隔热、散热等防火保护措施。卤钨灯和额定功率不小于100W的白炽灯泡的吸顶灯、槽灯、嵌入式灯,其引入线应采用瓷管、矿棉等不燃材料作隔热保护。

超过60W的白炽灯、卤钨灯、高压钠灯、金属卤灯光源、荧光高压汞灯(包括电感镇流器)等不应直接安装在可燃装修材料或可燃构件上。

11.3.1 除住宅外的民用建筑、厂房和丙类仓库的下列部位,应设置消防应急照明灯具:

1. 封闭楼梯间、防烟楼梯间及其前室,消防电梯间的前室或合用前室;

2. 消防控制室、消防水泵房、自备发电机房、配电室、防烟与排烟机房以及发生火灾时仍需正常工作的其他房间;

3. 观众厅,建筑面积超过400m²的展览厅、营业厅、多功能厅、餐厅,建筑面积超过200m²的演播室;

4. 建筑面积超过300m²的地下、半地下建筑或地下室、半地下室中的公共活动房间;

5. 公共建筑中的疏散走道。

11.3.2 建筑内消防应急照明灯具的照度应符合下列规定:

1. 疏散走道的地面最低水平照度不应低于 0.5lx；

2. 人员密集场所内的地面最低水平照度不应低于 1.0lx；

3. 楼梯间内的地面最低水平照度不应低于 5.0lx；

4. 消防控制室、消防水泵房、自备发电机房、配电室、防烟与排烟机房以及发生火灾时仍需正常工作的其他房间的消防应急照明，仍应保证正常照明的照度。

11.3.4 公共建筑、高层厂房(仓库)及甲、乙、丙类厂房应沿疏散走道和在安全出口、人员密集场所的疏散门的正上方设置灯光疏散指示标志，并应符合下列规定：

1. 安全出口和疏散门的正上方应采用“安全出口”作为指示标识。

2. 沿疏散走道设置的灯光疏散指示标志，应设置在疏散走道及其转角处距地面高度 1.0m 以下的墙面上，且灯光疏散指示标志间距不应大于 20.0m；对于袋形走道，不应大于 10.0m；在走道转角区，不应大于 1.0m，其指示标识应符合现行国家标准《消防安全标志》(GB 13495—1992)的有关规定。

11.3.5 下列建筑或场所应在其内疏散走道和主要疏散路线的地面上增设能保持视觉连续的灯光疏散指示标志或蓄光疏散指示标志：

1. 总建筑面积超过 8000m^2的展览建筑；

2. 总建筑面积超过 5000m^2的地上商店；

3. 总建筑面积超过 500m^2的地下、半地下商店；

4. 歌舞娱乐放映游艺场所；

5. 座位数超过 1500 个的电影院、剧院，座位数超过 3000 个的体育馆、会堂或礼堂。

11.4.1 下列场所应设置火灾自动报警系统：

1. 大中型电子计算机房及其控制室、记录介质库，特殊贵重或火灾危险性大的机器、仪表、仪器设备室、贵重物品库房，设有气体灭火系统的房间；

2. 每座占地面积大于 1000m^2的棉、毛、丝、麻、化纤及其织物的库房，占地面积超过 500m^2或总建筑面积超过 1000m^2的卷烟库房；

3. 任一层建筑面积大于 1500m^2或总建筑面积大于 3000m^2的制鞋、制衣、玩具等厂房；

4. 任一层建筑面积大于 3000m^2或总建筑面积大于 6000m^2的商店、展览建筑、财贸金融建筑、客运和货运建筑等；

5. 图书、文物珍藏库，每座藏书超过 100 万册的图书馆，重要的档案馆；

6. 地市级及以上广播电视建筑、邮政楼、电信楼，城市或区域性电力、交通和防灾救灾指挥调度等建筑；

7. 特等、甲等剧院或座位数超过 1500 个的其他等级的剧院、电影院，座位数超过 2000 个的会堂或礼堂，座位数超过 3000 个的体育馆；

8. 老年人建筑、任一楼层建筑面积大于 1500m^2或总建筑面积大于 3000m^2的旅馆建筑、疗养院的病房楼、儿童活动场所和大于等于 200 床位的医院的门诊楼、病房楼、手术部等；

9. 建筑面积大于 500m^2的地下、半地下商店；

10. 设置在地下、半地下或建筑的地上四层及四层以上的歌舞娱乐放映游艺场所；

11. 净高大于 2.6m 且可燃物较多的技术夹层，净高大于 0.8m 且有可燃物的闷顶或吊顶内。

11.4.2 建筑内可能散发可燃气体、可燃蒸气的场所应设可燃气体报警装置。

11.4.4 消防控制室的设置应符合下列规定：

1. 单独建造的消防控制室,其耐火等级不应低于二级;

2. 附设在建筑物内的消防控制室,宜设置在建筑物内首层的靠外墙部位,也可设置在建筑物的地下一层,但应与其他部位隔开,并应设置直通室外的安全出口;

3. 严禁与消防控制室无关的电气线路和管路穿过;

4. 不应设置在电磁场干扰较强及其他可能影响消防控制设备工作的设备用房附近。

《高层民用建筑设计防火规范(2005 版)》(GB 50045—1995)

规范引用

9.1.1 高层建筑的消防控制室、消防水泵、消防电梯、防烟排烟设施、火灾自动报警、漏电火灾报警系统、自动灭火系统、应急照明、疏散指示标志和电动的防火门、窗、卷帘、阀门等消防用电,应按现行的国家标准《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)的规定进行设计,一类高层建筑应按一级负荷要求供电,二类高层建筑应按二级负荷要求供电。

9.1.4 消防用电设备的配电线路应满足火灾时连续供电的需要,其敷设应符合下列规定:

9.1.4.1 暗敷设时,应穿管并应敷设在不燃烧体结构内且保护层厚度不应小于30mm;明敷设时,应穿有防火保护的金属管或有防火保护的封闭式金属线槽;

9.1.4.2 当采用阻燃或耐火电缆时,敷设在电缆井、电缆沟内可不采取防火保护措施;

9.1.4.3 当采用矿物绝缘类不燃性电缆时,可直接敷设;

9.4.1 建筑高度超过 100m 的高层建筑,除游泳池、溜冰场、卫生间外,均应设火灾自动报警系统。

9.4.2 除住宅、商住楼的住宅部分、游泳池、溜冰场外,建筑高度不超过 100m 的一类高层建筑的下列部位应设置火灾自动报警系统:

9.4.2.1 医院病房楼的病房、贵重医疗设备室、病历档案室、药品库。

9.4.2.2 高级旅馆的客房和公共活动用房。

9.4.2.3 商业楼、商住楼的营业厅,展览楼的展览厅。

9.4.2.4 电信楼、邮政楼的重要机房和重要房间。

9.4.2.5 财贸金融楼的办公室、营业厅、票证库。

9.4.2.6 广播电视楼的演播室、播音室、录音室、节目播出技术用房、道具布景。

9.4.2.7 电力调度楼、防灾指挥调度楼等的微波机房、计算机房、控制机房、动力机房。

9.4.2.8 图书馆的阅览室、办公室、书库。

9.4.2.9 档案楼的档案库、阅览室、办公室。

9.4.2.10 办公楼的办公室、会议室、档案室。

9.4.2.11 走道、门厅、可燃物品库房、空调机房、配电室、自备发电机房。

9.4.2.12 净高超过 2.60m 且可燃物较多的技术夹层。

9.4.2.13 贵重设备间和火灾危险性较大的房间。

9.4.2.14 经常有人停留或可燃物较多的地下室。

9.4.2.15 电子计算机房的主机房、控制室、纸库、磁带库。

1.1.2.2 电气和防雷设备部分强制性条文

《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)

参考 1.1 节 1.1.1.2 中《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)的相关内容。

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

3.1.4 在 TN-C 系统中不应将保护接地中性导体隔离,严禁将保护接地中性导体接入开关电器。

3.1.7 半导体开关电器,严禁作为隔离电器。

3.1.10 隔离器、熔断器和连接片,严禁作为功能性开关电器。

3.1.12 采用剩余电流动作保护电器作为间接接触防护电器的回路时,必须装设保护导体。

《20kV 及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)

参考 1.1 节 1.1.1.2 中《20kV 及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)的相关内容。

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

3.0.2 在可能发生对地闪击的地区,遇下列情况之一时,应划为第一类防雷建筑物:

1. 凡制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建筑物,因电火花而引起爆炸、爆轰,会造成巨大破坏和人身伤亡者。

2. 具有 0 区或 20 区爆炸危险场所的建筑物。

3. 具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物,因电火花而引起爆炸,会造成巨大破坏和人身伤亡者。

3.0.3 在可能发生对地闪击的地区,遇下列情况之一时,应划为第二类防雷建筑物:

1. 国家级重点文物保护的建筑物。

2. 国家级的会堂、办公建筑物、大型展览和博览建筑物、大型火车站和飞机场、国宾馆,国家级档案馆、大型城市的重要给水泵房等特别重要的建筑物。

注:飞机场不含停放飞机的露天场所和跑道。

3. 国家级计算中心、国际通信枢纽等对国民经济有重要意义的建筑物。

4. 国家特级和甲级大型体育馆。

5. 制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建筑物,且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者。

6. 具有 1 区或 21 区爆炸危险场所的建筑物,且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者。

7. 具有 2 区或 22 区爆炸危险场所的建筑物。

8. 有爆炸危险的露天钢质封闭气罐。

9. 预计雷击次数大于 0.05 次/a 的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物以及火灾危险场所。

10. 预计雷击次数大于 0.25 次/a 的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般性工业建筑物。

3.0.4 在可能发生对地闪击的地区,遇下列情况之一时,应划为第三类防雷建筑物:

1. 省级重点文物保护的建筑物及省级档案馆。

2. 预计雷击次数大于或等于 0.01 次/a,且小于或等于 0.05 次/a 的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物,以及火灾危险场所。

3. 预计雷击次数大于或等于 0.05 次/a,且小于或等于 0.25 次/a 的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般性工业建筑物。

4. 在平均雷暴日大于 15d/a 的地区,高度在 15m 及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物;在平均雷暴日小于或等于 15d/a 的地区,高度在 20m 及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物。

4.1.1 各类防雷建筑物应设防直击雷的外部防雷装置,并应采取防闪电电涌侵入的措施。

第一类防雷建筑物和《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 3.0.3 条第 5～7 款所规定的第二类防雷建筑物,还应采取防闪电感应的措施。

4.1.2 各类防雷建筑物应设内部防雷装置,并应符合下列规定:

1. 在建筑物的地下室或地面层处,以下物体应与防雷装置做防雷等电位联结:

1)建筑物金属体。

2)金属装置。

3)建筑物内系统。

4)进出建筑物的金属管线。

2. 除本条 1 款的措施外,外部防雷装置与建筑物金属体、金属装置、建筑物内系统之间,还应满足间隔距离的要求。

4.2.1 第一类防雷建筑物防直击雷的措施应符合下列规定:

2. 排放爆炸危险气体、蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等的管口外的以下空间应处于接闪器的保护范围内:

1)当有管帽时,应按表 1-23 的规定确定。

2)当无管帽时,应为管口上方半径 5m 的半球体。

3)接闪器与雷闪的接触点应设在本款第 1 项或第 2 项所规定的空间之外。

表 1-23 有管帽的管口外处于接闪器保护范围内的空间

装置内的压力与周围空气压力的压力差/kPa	排放物对比于空气	管帽以上的垂直距离/m	距管口处的水平距离/m
＜5	重于空气	1	2
5～25	重于空气	2.5	5
≤25	轻于空气	2.5	5
＞25	重或轻于空气	5	5

注:相对密度小于或等于 0.75 的爆炸性气体规定为轻于空气的气体;相对密度大于 0.75 的爆炸性气体规定为重于空气的气体。

3. 排放爆炸危险气体、蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等，当其排放物达不到爆炸浓度、长期点火燃烧、一排放就点火燃烧，以及发生事故时排放物才达到爆炸浓度的通风管、安全阀，接闪器的保护范围可仅保护到管帽，无管帽时可仅保护到管口。

4.3.3 专设引下线不应少于两根，并应沿建筑物四周和内庭院四周均匀对称布置，其间距沿周长计算不宜大于18m。当建筑物的跨度较大，无法在跨距中间设引下线时，应在跨距两端设引下线并减小其他引下线的间距，专设引下线的平均间距不应大于18m。

4.3.5 利用建筑物的钢筋作为防雷装置时应符合下列规定：

3. 敷设在混凝土中作为防雷装置的钢筋或圆钢，当仅为一根时，其直径不应小于10mm。被利用作为防雷装置的混凝土构件内有箍筋连接的钢筋时，其截面积总和不应小于一根直径10mm钢筋的截面积。

4. 利用基础内钢筋网作为接地体时，在周围地面以下距地面不应小于0.5m，每根引下线所连接的钢筋表面积总和应按下式计算：

$$S \geqslant 4.24k_c^2 \tag{1-1}$$

式中 S——钢筋表面积总和(m^2)；

k_c——分流系数，其值按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录E的规定取值。

5.2.11 专门敷设的接闪器应由下列的一种或多种组成：

1. 独立接闪杆。

2. 架空接闪线或架空接闪网。

3. 直接装设在建筑物上的接闪杆、接闪带或接闪网。

5.2.12 专门敷设的接闪器，其布置应符合表1-24的规定。布置接闪器时，可单独或任意组合采用接闪杆、接闪带、接闪网。

表1-24 接闪器布置

建筑物防雷类别	滚球半径 h_r/m	接闪网网格尺寸/m
第一类防雷建筑物	30	≤5×5或≤6×4
第二类防雷建筑物	45	≤10×10或≤12×8
第三类防雷建筑物	60	≤20×20或≤24×16

6.1.2 当电源采用TN系统时，从建筑物总配电箱起供电给本建筑物内的配电线路和分支线路必须采用TN-S系统。

1.2 电流对人体的效应

1.2.1 名词解释

规范引用 《电流对人和家畜的效应 第1部分:通用部分》(GB/T 13870.1—2008)

3.1.1 纵向电流

纵向流过人体躯干的电流(如从手到脚)。

3.1.2 横向电流

横向流过人体躯干的电流(如从手到手)。

3.1.3 人体内阻抗

Z_i

与人体两个部位相接触的两个电极间的阻抗,不计皮肤阻抗。

3.1.4 皮肤阻抗

Z_S

皮肤上的电极与皮下可导电组织之间的阻抗。

3.1.5 人体总阻抗

Z_T

人体内阻抗与皮肤阻抗的矢量和。

3.1.6 人体初始电阻

R_o

在接触电压出现瞬间,限制电流峰值的电阻。

3.1.7 干燥条件

活人在正常室内环境条件下休息时,皮肤接触表面积的湿度的条件。

3.1.8 水湿润条件

浸入于市政供水(平均电阻率 $\rho=3500\Omega$cm,pH=7～9)的水中 1mm,皮肤接触表面积的条件。

3.1.9 盐水湿润条件

浸入于 3%NaCl(氯化钠)的水溶液(平均电阻率 $\rho=30\Omega$cm,pH=7～9)中 1min,接触表面积皮肤的条件。

注:假设盐水湿润条件模拟在海水中游泳或浸没后的人的皮肤条件,还有进一步调查研究的必要。

3.1.10 偏差系数

F_D

在给定的接触电压,人口某百分数的人体总阻抗 Z_T 除以人口 50%百分数的人体总阻抗 Z_t:

$$F_D(X\%,U_T)=\frac{Z_T(X\%,U_T)}{Z_T(50\%,U_T)}$$

3.2.1 感知阈

通过人体能引起任何感觉的接触电流的最小值。

3.2.2 反应阈

能引起肌肉不自觉收缩的接触电流的最小值。

3.2.3 摆脱阈

人手握电极能自行摆脱电极时接触电流的最大值。

3.2.4 心室纤维性颤动阈

通过人体能引起心室纤维性颤动的接触电流最小值。

3.2.5 心脏—电流因数

F

电流通过某一路径在心脏中所产生的电场强度(电流密度)与该等量接触电流通过左手到双脚时在心脏内产生的电场强度(电流密度)之比。

注:在心脏内,电流密度与电场强度成正比。

3.2.6 易损期

心博周期中较短的一段时间,在此期间心脏纤维处于不协调的兴奋状态,如果受到足够大的电流激发,就会发生心室纤维性颤动。

注:易损期对应于心电图中 T 波的前段,约为心博周期的 10%。

3.3.1 人体的总电阻

R_T

人体内部电阻与皮肤电阻之和。

3.3.2 直流/交流的等效因数

k

直流电流与其能诱发相同心室纤维性颤动概率的等效的交流电流的方均根(r. m. s)值之比。

注:以电击持续时间超过一个心博周期,并且心室纤维性颤动概率为 50%为例,对 10s 的等效因数约为:

$$k=\frac{I_{\text{d. c. -纤维性颤动}}}{I_{\text{a. c. -纤维性颤动(r. m. s)}}}=\frac{300\text{mA}}{80\text{mA}}=3.75$$

3.3.3 向上电流

通过人体使脚处于正极性的直流接触电流。

3.3.4 向下电流

通过人体使脚处于负极性的直流接触电流。

1.2.2 15～100Hz 范围内正弦交流电流的效应

规范引用 《电流对人和家畜的效应 第 1 部分:通用部分》(GB/T 13870.1—2008)

5 在 15～100Hz 范围内正弦交流电流的效应

本章说明频率范围为 15～100Hz 的正弦交流电流通过人体时的效应。

注:除非另有说明,以后所说的电流值均为方均根值。

接触电流及其效应的实例如图 1-1 所示。

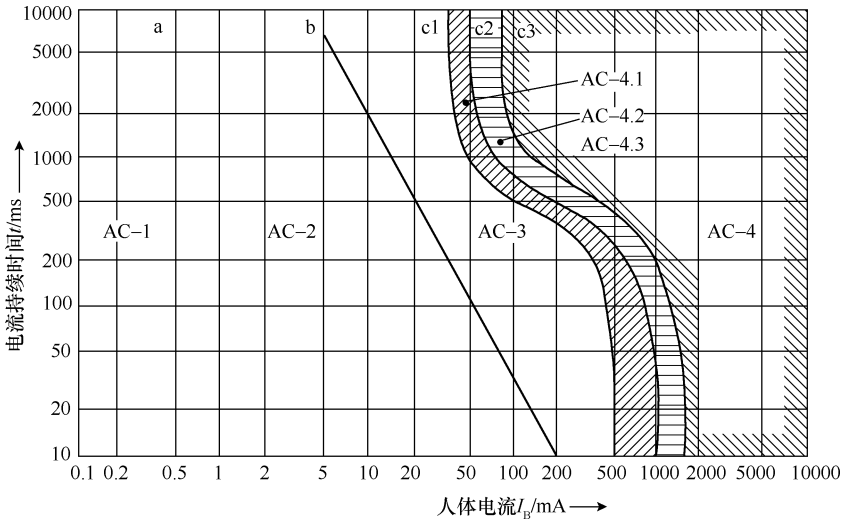


图 1-1 电流路径为左手到双脚的交流电流(15～100Hz)
对人效应的约定的时间/电流区域(说明见表 1-25)

表 1-25 一手到双脚的通路,交流 15Hz 至 100Hz 的时间/电流区域(图 20 区域的简要说明)

区域	范围	生理效应
AC-1	0.5mA 的曲线 a 的左侧	有感知的可能性,但通常没有被"吓一跳"的反应
AC-2	曲线 a 至曲线 b	可能有感知和不自主的肌肉收缩,但通常没有有害的电生理学效应
AC-3	曲线 b 至曲线 c	可强烈地不自主的肌肉收缩。呼吸困难。可逆性的心脏功能障碍。活动抑制可能出现。随着电流幅度增大而加剧的效应。通常没有预期的器官破坏
AC-4a	曲线 c1 以上	可能发生病理一生理学效应,如心博停止、呼吸停止以及烧伤或其他细胞的破坏。心室纤维性颤动的概率随着电流幅度和时间的增加而增大
	c1～c2	AC-4.1 心室纤维性颤动的概率增到大约 5%
	c2～c3	AC-4.2 心室纤维性颤动的概率增到大约 50%
	曲线 c3 的右侧	AC—4.3 心室纤维性颤动的概率超过 50%以上

a. 电流的持续时间在 200ms 以下,如果相关的阈被超过,心室纤维性颤动只有在易损期内才能被激发。关于心室纤维性颤动,图 1-1 与在从左手到双脚的路径中流通的电流效应相关。对其他电流路径,应考虑心脏电流系数。

5.1 *感知阈*

感知阈取决于若干参数,如与电极接触的人体的面积(接触面积)、接触的状况(干燥、潮湿、压力、温度),而且,还取决于个人的生理特性。

5.2 *反应阈*

反应阈取决于若干参数,如与电极接触的人体的面积(接触面积)、接触的状况(干燥、潮湿、压力、温度),而且,还取决于个人的生理特性。

与时间无关的 0.5mA 的电流值,是在本部分中假设作为当接触可导电的表面时的反应阈。

5.3 *活动抑制*

在本部分中的“活动抑制”意味着这样一种电流效应，即受电流影响的人的身体（或身体的部分）不能自主地活动。

对肌肉的效应有可能是由于电流通过受损伤的肌肉或通过相关联的神经或相关联的脑髓部分流通所导致的结果。

能导致活动抑制的电流值取决于受损伤肌肉的体积、受电流损伤的神经类型和脑髓的部位。

5.4 摆脱阈

摆脱阈取决于若干参数，如接触面积、电极的形状和尺寸，而且，还取决于个人的生理特性。

在该技术规程中，约 10mA 的值是针对成年男人而假设的。

在本部分中，约 5mA 的数值适用于所有人（附加资料见图 1-2）。

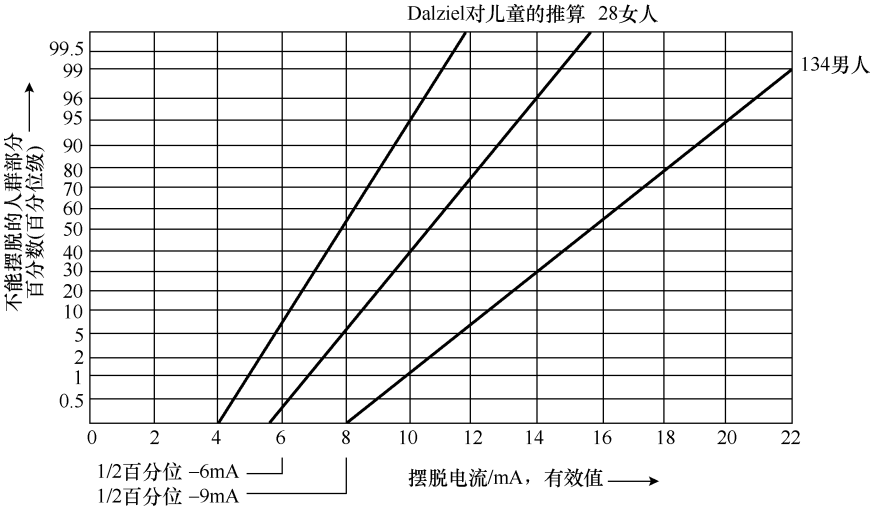
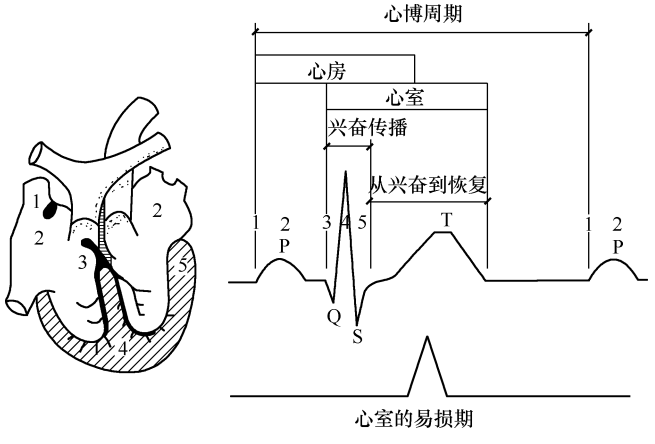


图 1-2 60Hz 正弦电流的摆脱电流

5.5 心室纤维性颤动阈

心室纤维性颤动阈取决于生理参数（人体结构、心脏功能状态等）以及电气参数（电流的持续时间和路径、电流的特性等）。心脏活动的说明见图 1-3 和图 1-3。



注：数字表示兴奋传导的后续阶段。

图 1-3 心博期间心室易损期的出现

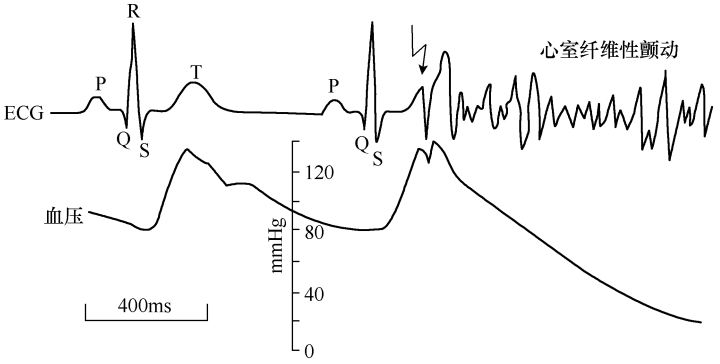
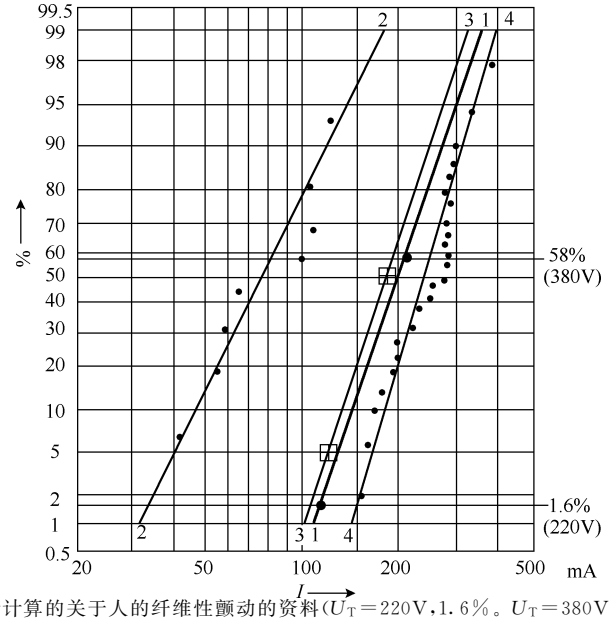


图 1-4 易损期心室纤维颤动的触发——对心电图(ECG)和血压的影响

对于正弦波交流(50Hz 或 60Hz),如果电流的流通被延长到超过一个心博周期,则纤维性颤动阈具有显著的下降。这种效应是由于诱发期外收缩的电流,使心脏不协调的兴奋状态加剧所导致的结果。

当电击的持续时间小于 0.1s,电流大于 500mA 时,纤维性颤动就有可能发生,只要电击发生在易损期内,而数安培的电流幅度,则很可能引起纤维性颤动。对于这样的强度而持续的时间又超过一个心搏周期的电击,有可能导致可逆性的心跳停止。

对电流的持续时间超过一个心博周期,图 1-5 表示的是来自动物的实验与人的来自对电气事故的统计计算的心室纤维颤动阈之间的比较。



注:1. 由对事故统计计算的关于人的纤维性颤动的资料(U_T=220V,1.6%。U_T=380V,58%)

2. 电流的持续时间为 5s 时,关于狗的心室纤维性颤动的资料。

3. 电流的持续时间大于 1.5 倍心博周期时,关于猪的纤维性颤动的资料。

4. 电流的持续时间为 3s 时,关于羊的纤维性颤动的资料。

· 根据事故统计的计算数据(U_T=220V,1.6%。U_T=380V,58%,I_T分别为 110mA 和 220mA)

⊞ 对猪测定的统计数据(I(5%)=120mA,I(50%)=180mA)。用心脏-电流系数 F=0.4 校正的数据。

图 1-5 取自于实验的狗、猪和羊的心室纤维性颤动的数据;交流接触电压为 220V 和 380V,人体总阻抗 Z_T(5%),电流路经为手到手横向流动方向的电气事故统计的人的心室纤维性颤动数据

在将于动物的实验结果施用于人体时，以左手到双脚的电流路径，很方便地建立了一条经验曲线 c1(见图 1-1)，在曲线 c1 以下，纤维性颤动是不大可能发生的。对处于 10mA 和 100mA 之间的短持续时间的高电平区间，被选作从 500mA 到 400mA 的递降的曲线。在电气事故资料的基础上，对持续时间长于 1s 的较低的电平区间，被选作在 1s 时的 50mA 至持续时间长于 3s 的 40mA 的递减的曲线。两电平区间用平滑的曲线连接。

根据对动物实验结果的统计计算，建立了分别为 5％和 so％的纤维性颤动概率的曲线 c2 和 c3(见图 1-1)。曲线 c1、c2 和 c3 适用于关于左手到双脚的电流路径。

5.6 与电击相关的其他效应

其他的电气效应，如肌肉收缩、血压上升、心跳脉冲的形成和传导的紊乱(包括心房纤维性颤动和瞬时的心律紊乱)都可能发生。这样一些效应通常并非是致命的。

如果有数安培电流持续的时间超过数秒，则深度的烧伤和其他的内部伤害都可能产生。也可能见到外表烧伤。

高压事故不可能导致心室纤维性颤动的后果，而是产生其他的心博停止的形式。这在事故统计方面被证明，并由动物的实验得到确认。然而，目前还没有足够的资料来鉴别这些情况的可能性。

心室纤维性颤动是致命的，因为它拒绝能输送所需要氧的血液的流动。不涉及心室纤维性颤动的电气事故也可能是致命的。其他的效应有可能影响呼吸，而或许防碍人大声呼救。这些相关机理包括呼吸调节的功能紊乱、呼吸肌肉的麻痹、肌肉的神经中枢活动通路的破坏和头脑内部呼吸调节机理的破坏。这些效应如若持久，则不可避免地会导致死亡。如果人要从可逆性呼吸效应中恢复原状，则必须强制性地实施果断的人工呼吸。尽管如此，人仍有可能死亡。如果电流通过如脊髓或呼吸调节中枢这种关键部分，则很可能发生死亡。这些效应都在考虑中，而且，相应的阈也还没有被定义。

强的横跨膜电场可能破坏细胞，尤其是细长的细胞，如骨格肌肉的细胞。这并不是热的效应。这些情况可见于高强度、短持续时间的人体电流(如由于瞬间地与高压配电线接触)，它们作为例子已被观察到。强电场跨越细胞膜可能在膜中诱发毛孔的形成。这种效应被称为电制孔。这些毛孔可能是稳定的，而且基本上是全密闭的，或可能增大而变成不稳定的，并继而引起细胞膜破裂。于是，组织不可逆地被破坏了。这时，可能发生组织坏死，常常需要将受伤的肢体截肢。电制孔不限于任何特殊的电流幅度或任何特殊的电流通路或流通的持续时间。

相关的非电气伤害，如外伤性的伤害应予以考虑。

5.7 电流对皮肤的效应

图 1-6 表示人皮肤的变化与电流密度 i_T(mA/mm²)和电流的持续时间之间的关系曲线。

作为指导，可给出下列数据：

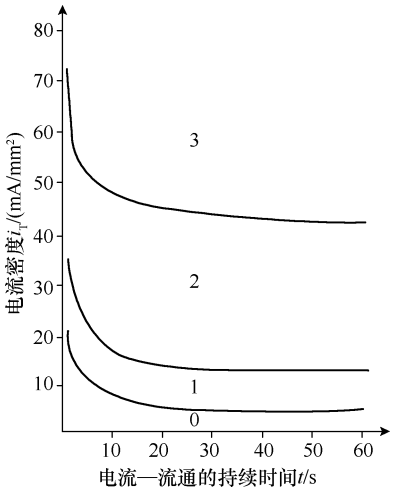
——在 10mA/mm² 以下，一般对皮肤观察不到变化，当电流的持续时间较长(若干秒)时，在电极下的皮肤可能是灰白色的粗糙表面(0 区)；

——在 10mA/mm² 和 20mA/mm² 之间，在电极边缘的皮肤变红出现带有类似的略带白色的隆起的波纹(1 区)；

——在 20mA/mm² 和 50mA/mm² 之间，在电极下的皮肤呈现褐色并深入皮肤。对于电流持续更长的时间(几十秒)，在电极周围可观察到充满电流痕迹(2 区)；

——在 50mA/mm² 以上，可能发生皮肤被碳化(3 区)；

——采用大的接触表面积,尽管是致命的电流幅度,而电流密度仍可降低到不会引起皮肤的任何的变化。



注:区域 3 呈现皮肤碳化;

区域 2 呈现电流伤痕,区域 1 呈现皮肤变红;区域 0 没有效应。

图 1-6 人皮肤状况与电流密度 i_T 和电流的持续时间之间的关系曲线(各区域的详细说明见 5.7)

5.8 时间/电流区域的说明(见图 1-1)

5.9 心脏电流系数(F)的应用

心脏电流系数可用于计算通过除左手到双脚的电流通路以外的电流 I_h,此电流与图 1-1 中的左手到双脚的 I_{ref} 具有同样心室纤维性颤动的危险:

$$I_h = \frac{I_{ref}}{F}$$

式中 I_{ref}——图 1-1 中的路径为左手到双脚的人体电流;

I_h——表 1-26 中各路径的人体电流;

F——表 1-26 中的心脏—电流系数。

注:心脏电流系数被认为只是作为各种电流路径心室纤维性颤动相对危险的大致估算。

对于不同电流路径的心脏电流系数列于表 1-26。

表 1-26 不同电流路径的心脏电流系数 *F*

电流路径	心脏电流系数
左脚到右手、右脚或双脚	1.0
双手到双脚	1.0
左手到右手	0.4
右手到左手、右脚或双脚	0.8
背脊到右手	0.3
背脊到左手	0.7
胸膛到右手	1.3
胸膛到左手	1.5
臂部到左手、右手或到双手	0.7
左脚到右脚	0.04

例如：从手到手的 225mA 的电流与从左手到双脚的 90mA 的电流，具有产生心室纤维性颤动的相同的可能性。

1.2.3 直流电流的效应

规范引用 《电流对人和家畜的效应 第 1 部分：通用部分》(GB/T 13870.1—2008)

6. 直流电流的效应

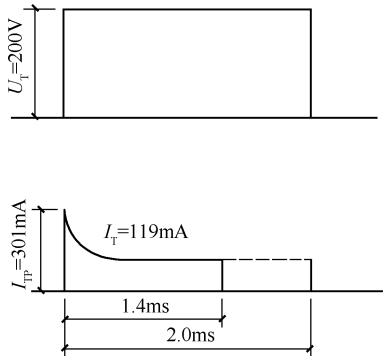
本节说明通过人体的直流电流的效应。

注 1：术语“直流电流”是指无纹波直流电流，然而，关于纤维性颤动效应，对于含有不大于 10%方均根值的正弦纹波电流的直流，本条款给出的数据是保守的。

注 2：纹波的影响在 IEC 60479-2 的第 5 章中叙述。

注 3：对于电流的持续时间在 10ms 以下，见 IEC 60479-2 的第 6 章。

接触电流及其效应的实例如图 1-7 中所示。



U_T=220V，直流，电流的持续时间为 20ms，接触电流 I_T=119mA，峰值 I_{TP}=301mA，

人体总电阻 R_T=168Ω，人体初始电阻 R_o=664Ω。双手臂和双肩有强烈的、烧灼的感觉和无意识的肌肉痉挛。

图 1-7 干燥条件，电流路径为手到手，大的接触表面积，关于直流的接触电压 U_T 和接触电流 I_T 的示波图

6.1 感知阈和反应阈

这两个阈取决于若干参数，如接触面积、接触状况(干燥度、湿度、压力、温度)、通电时间和个人的生理特点。与交流不同，在感知阈水平时直流只有在接通和断开时才有感觉，而在电流流过期间不会有其他感觉。在与交流类似的研究条件下测得的反应阈约为 2mA。

6.2 活动抑制阈和摆脱阈

与交流不同，直流没有确切的活动抑制阈或摆脱阈。只有在电流接通和断开时，才会引起肌肉疼痛和痉挛状收缩。

6.3 心室纤维性颤动阈

如同在交流纤维颤动阈中所说明的，直流的纤维性颤动阈也取决于生理和电气参数。

由电气事故资料得知，似是通常纵向电流才会有心室纤维性颤动的危险。至于横向电流，由动物实验得知在更高的电流强度时也可能发生。

从动物的实验及电气事故资料得知，向下电流的纤维性颤动阈，约为向上电流的两倍。

电击时间长于一个心博周期时，直流的纤维性颤动阈比交流要高好几倍。当电击时间短于 200ms 时，其纤维性颤动阈和交流以方均根的阈值大致相同。

由动物实验所获得的绘制曲线，适用于纵向向上的(脚为正极性的)电流。在图 1-8 中

的曲线 c2 和 c3 表示计算的电流强度和持续时间的组合,在这种情况下,当电流路径为纵向通过躯体(即从左前肢到双后脚)时,动物的心室纤维性颤动的概率分别约为 5%和 50%。曲线 c1 表示电流和持续时间的组合,低于曲线 c1,根据对动物的研究,对电流通过人体的同样的纵向通路,则心室纤维性颤动的可能比预计低很多。新近的研究表明对于人的心室纤维性颤动阈,对每一个持续时间而言,都高于与动物相比的电流幅度。例如,对于健康的人,其左手到双脚的阈电流,对于长的电流持续时间,可能是 200mA 的数量级。然而,并不是所有人的心脏都是健康的,而且有些疾病可能会影响心室纤维性的颤动阈。具有不健康心脏状况的某些人,其心室纤维性颤动阈低于正常标准,但对减少的量并无准确的了解。因此,在图中所表示的以研究动物为依据的那条 c1 曲线,用于说明关于人的心室纤维性颤动阈是保守的估计。还没有在 c1 曲线以下电击死亡的电气事故,这表明,对于所有人而言,c1 曲线或许是保守的。对于纵向向下的电流(双脚为负极性),以近似于 2 的系数,必须将曲线都变换到比较高的电流幅度。

6.4 电流的其他效应

电流接近 100mA 时,通电期间,四肢有发热感。在接触面的皮肤内感到疼痛。

300mA 以下横向电流流过人体几分钟时,随着时间和电流量的增加,可引起可逆的心律失常、电流伤痕、烧伤、头昏以及有时失去知觉。超过 300mA 时,往往会失去知觉。

电流达数安培延续超过几秒,则可能发生深度烧伤或其他损伤,甚至死亡。

像电制孔这样的效应,有可能因同直流电路和交流电路的接触而引起。

有关非电气伤害,如外伤的伤害应予以考虑。

6.5 时间/电流区域的说明(见图 1-8)

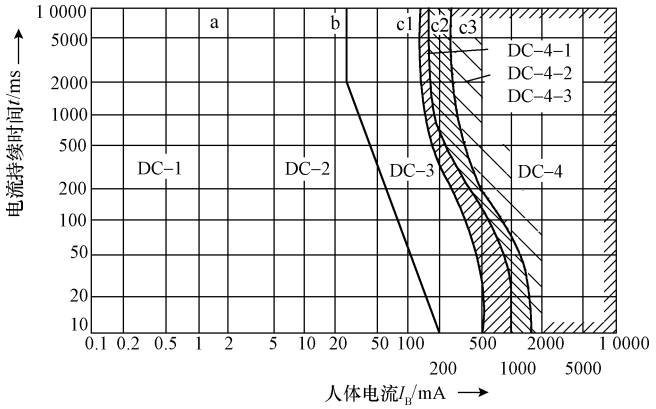


图 1-8 电流路径为纵向向上的直流电流对人体效应的约定的时间/电流区域(说明见表 1-27)

表 1-27 直流—手到双脚通路的时间/电流区域(图 1-8 区域的简要说明)

区域	范围	生理效应
DC-1	2mA 曲线 a 的左侧	当接通、断开或快速变化的电流流通时,可能有轻微的刺痛感
DC-2	曲线 a 至曲线 b	实质上,当接通、断开或快速变化的电流流通时,很可能发生无意识的肌肉收缩,但通常没有有害的电气生理效应
DC-3	曲线 b 的右侧	随着电流的幅度和时间的增加,在心脏中很可能发生剧烈的无意识的肌肉反应和可逆的脉冲成形传导的紊乱。通常没有所预期的器官损坏

续表

区域	范围	生理效应
DC-4[a]	曲线 c1 以上	有可能发生病理－生理学效应，如心博停止、呼吸停止以及烧伤或其他细胞的破坏。心室纤维性颤动的概率也随着电流幅度和时间的增加而增加
	c1～c2	DC-4-1 心室纤维性颤动的概率增加到约 5%
	c2～c3	DC-4-2 心室纤维性颤动的概率增加到约 50%
	曲线 c3 的右侧	DC-4-3 心室纤维性颤动的概率增加到大于 50%

a. 电流的持续时间在 200ms 以下，如果相关的阈被超过，则心室纤维性颤动只有在易损期内才能被激发。在这个图中的心室纤维性颤动，与路径为左手到双脚而且是向上流动的电流效应相关。至于其他的电流路径，已由心脏电流系数予以考虑。

6.6 心脏系数

与交流电流一样，心脏系数也适用于直流电流。

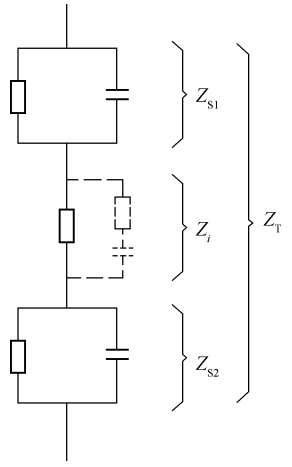
1.2.4 人体的阻抗

规范引用 《电流对人和家畜的效应 第 1 部分：通用部分》(GB/T 13870.1—2008)

4. 人体的阻抗

人体的阻抗值取决于许多因素，而且尤其是电流的路径、接触电压、电流的持续时间、频率、皮肤的潮湿程度、接触的表面积、施加的压力和温度。

关于人体阻抗的示意图如图 1-9 所示。



Z_i—内阻抗；Z_{S1}、Z_{S2}——皮肤阻抗；Z_T—总阻抗

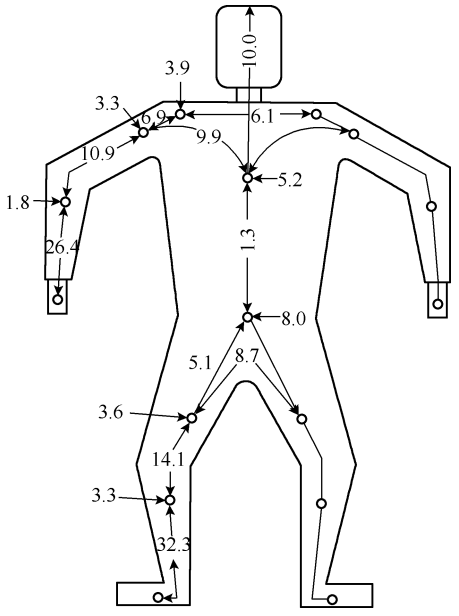
图 1-9 人体阻抗

4.1 人体的内阻抗(Z_i)

人体的内阻抗大部分可认为是阻性的。其数值主要由电流路径决定，与接触表面积的关系较小。

注 1：测定表明，人体内阻抗存在很少的电容分量(见图 1-9 中的虚线)。

图 1-10 所示为人体不同部位的内阻抗,以一手到一脚为路径的阻抗百分数表示。



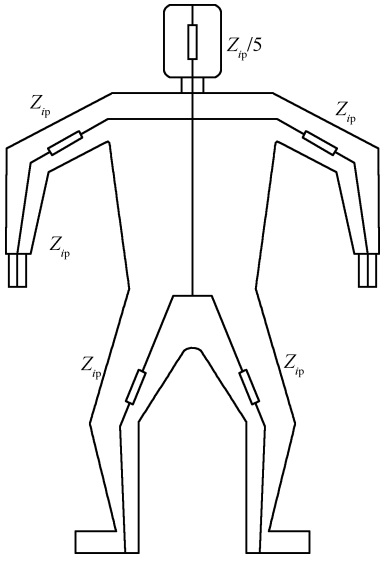
数字表示相对路径为一手到一脚的相关的人体部分内阻抗的百分数。

注:为了计算关于所给出的电流路径的人体总阻抗 Z_T,对电流流通的人体所有部分的部分内阻抗 Z_{ip},以及接触表面积的皮肤阻抗都必须相加。人体外面的数字表示,当电流进入该点时,才要加到总数中的部分内阻抗。

图 1-10 人体内部的部分阻抗 Z_{ip}

对于电流路径为手到手或手到脚时,阻抗主要是四肢(手臂和腿)。若忽略人体躯干的阻抗,可得出如图 1-11 所示的简化的电路图。

注 2:为简化电路,假设手臂和腿的阻抗值相等。



Z_{ip}—肢体(手臂或腿)部分的内阻抗。

注:从一手到双脚的内阻抗大约是 75%,从双手到双脚为 50%,而从双手到人体躯干的阻抗为手到手或一手到一脚阻抗的 25%。

图 1-11 人体内部阻抗的简化示意图

4.2 皮肤阻抗(Z_S)

皮肤阻抗可视为由半绝缘层和许多小的导电体(毛孔)组成的电阻和电容的网络。当电流增加时皮肤阻抗下降。有时可见到电流的痕迹。

皮肤的阻抗值取决于电压、频率、通电时间,接触的表面积、接触的压力、皮肤的潮湿程度、皮肤的温度和种类。

对较低的接触电压,即使是同一个人,其皮肤阻抗值也会随着条件的不同而具有很大的变化,如接触的表面积和条件(干燥、潮湿、出汗)、温度、快速呼吸等。对于较高的接触电压,则皮肤阻抗显著地下降,而当皮肤击穿时,就变得可以忽略了。

至于频率的影响,则是频率增大时皮肤阻抗减小。

4.3 人体总阻抗(Z_T)

人体的总阻抗是由电阻性和电容性分量组成的。

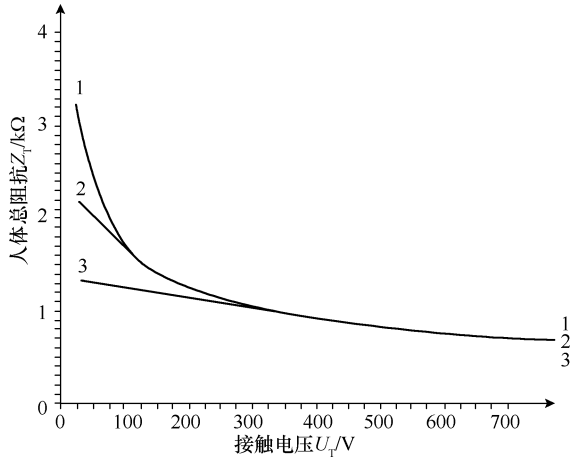
对比较低的接触电压,皮肤阻抗 Z_S 具有显著的变化,而人体总阻抗 Z_T 也随之有很大的类似变化。

对于比较高的接触电压,皮肤阻抗对总阻抗的影响越来越小,而它的数值接近于内阻抗 Z_i 的值,见图 1-12～图 1-17。

关于频率的影响,计及频率与皮肤阻抗的依从关系,人体总阻抗在直流时较高,且随着频率增大而减小。

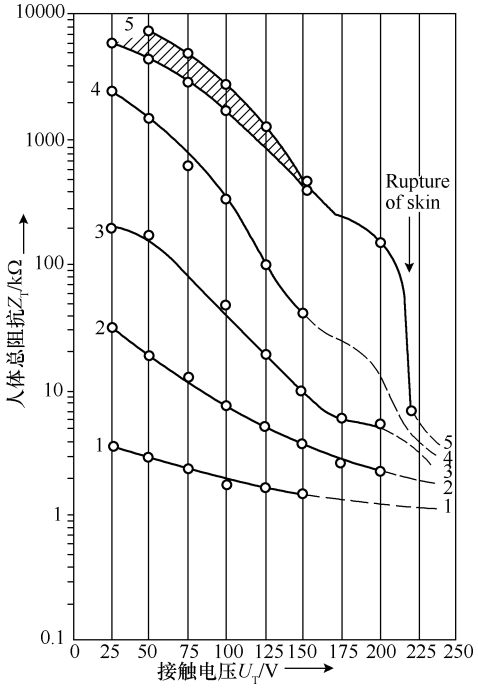
4.4 影响人体内电阻(R_o)的因素

在接触电压出现的瞬间,人体电容尚未充电,所以皮肤阻抗 Z_{S1} 和 Z_{S2} 可忽略不计,故初始电阻 R_o 大约等于人体内阻抗 Z_i(见图 1-9),初始电阻 R_o 主要取决于电流通路,与接触表面关系较小。



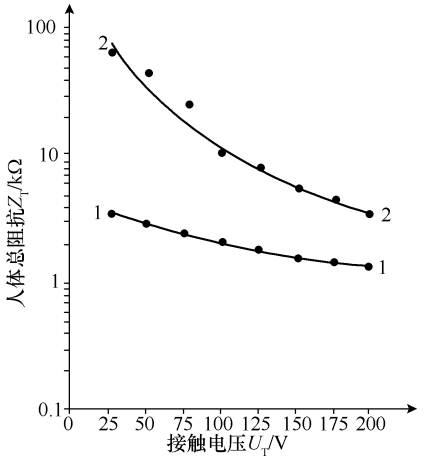
1—干燥条件;2—水湿润条件;3—盐水湿润条件

图 1-12 干燥,水湿润和盐水湿润条件,大的接触表面积,电流路径为手到手,50Hz/60Hz 交流接触电压 U_T 为 25～700V,50%被测对象的人体总阻抗 Z_T(50%)



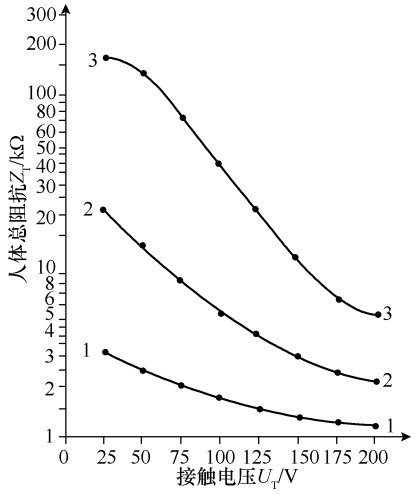
1—接触表面积 8200mm²;2—接触表面积 1250mm²;3—接触表面积 100mm²;
4—接触表面积 10mm²;5—接触表面积 1mm²
(在 220V 时皮肤击穿)

图 1-13 干燥条件,50Hz 交流接触电压时,一个活人的总阻抗 Z_T 与接触表面积之间的关系曲线



1—大的接触表面积(约 8000mm²),电流路径为手到手;
2—两指尖的表面积(约 250mm²),电流路径为从右手食指尖到左手食指尖

图 1-14 干燥条件,50Hz 交流接触电压 U_T 为 25～200V,电流最大持续时间为 25ms,从右手到左手的两食指尖的电流路径与从右手到左手的大的接触表面积的路径相比较,一个活人的人体测定总阻抗 Z_T 与接触电压 U_T 之间的关系曲线

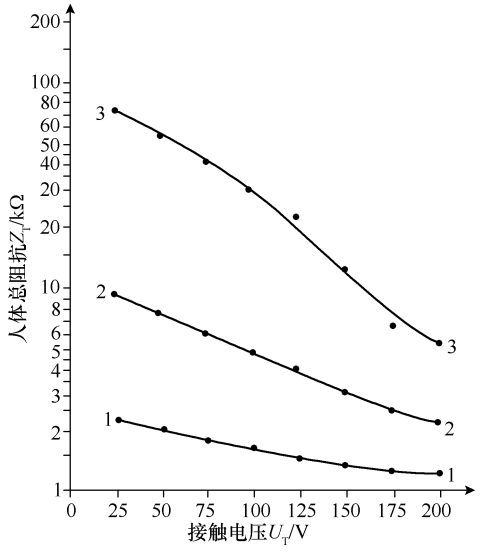


1—大的接触表面积，A 型电极（数量级为 10000mm²）；

2—中等尺寸的接触表面积，B 型电极（数量级为 1000mm²）；

3—小的接触表面积，C 型电极（数量级为 100mm²）

图 1-15 干燥条件，大的、中等的和小的接触表面积（数量级分别为 10000mm²、1000mm² 和 100mm²），活人的 50％被测对象的人体总阻抗 Z_T 与 50Hz/60Hz 交流接触电压 U_T 为 25～200V 的关系曲线

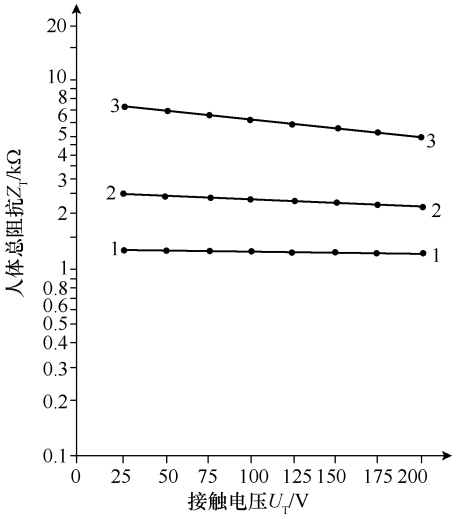


1—大的接触表面积，A 型电极（数量级为 10000mm²）；

2—中等尺寸的接触表面积，B 型电极（数量级为 1000mm²）；

3—小的接触表面积，C 型电极（数量级为 100mm²）

图 1-16 水湿润条件、大的、中等的和小的接触表面积（数量级分别为 10000mm²、1000mm² 和 100mm²），活人 50％被测对象的人体总阻抗 Z_T 与 50Hz/60Hz 交流接触电压 U_T 为 25～200V 的关系曲线



1—大的接触表面积,A 型电极(数量级为 10000mm²);

2—中等尺寸的接触表面积,B 型电极(数量级为 1000mm²);

3—小的接触表面积,C 型电极(数量级为 100mm²)

图 1-17 盐水湿润条件,大的、中等的和小的接触表面积(数量级分别为 10000mm²、1000mm²和 100mm²),活人 50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 与 50Hz/60Hz 交流接触电压 U_T 为 25～200V 的关系曲线

初始电阻 R_o 限制了短脉冲电流的峰值(如来自电栅栏控制器的电击)。

4.5 人体总阻抗值(Z_T)

在干燥、水湿润和盐水湿润条件下的大的、中等的和小的接触表面积(数量级分别为 10000mm²、1000mm²和 100mm²),活人 50%被测对象的人体总阻抗,在交流接触电压 U_T 为 25～200V 时的关系曲线,如图 1-15～图 1-17 中所示。

4.5.1 关于大的接触表面积的 50Hz/60Hz 的正弦交流电流

在表 1-28～表 1-30 中的人体总阻抗值,适用于具备下列条件的活人,即在干燥(表 1-28)、水湿润(表 1-29)和盐水湿润(表 1-30)条件下的大的接触表面积(数量级为 10000mm²),而且电流的路径为手到手。

在图 1-12 中所表示的是分别在干燥、水湿润和盐水湿润的条件下,对于大的接触表面积,接触电压一直到 700V,50%被测对象的人体总阻抗的范围。

表 1-28～表 1-30 所表示的是关于活着的成年人所知道的人体总阻抗 Z_T 的数值。关于对儿童的人体总阻抗 Z_T,就目前所获得的知识,预期稍高于成年人,但数量级相同。

表 1-28 干燥条件,大的接触表面积,50Hz/60Hz 交流电流路径为手到手的人体总阻抗 Z_T

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	1750	3250	6100
50	1375	2500	4600
75	1125	2000	3600
100	990	1725	3125

续表

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
125	900	1550	2675
150	850	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050
渐近值=内阻抗	575	775	1050

注：①有些测定表明，电流路径为一手到一脚的人体总阻抗，稍低于电流路径为手到手的人体总阻抗(10%～30%)。

②对于活人的 Z_T 值，相应于电流的持续时间约为 0.1s。对于更长的持续时间，Z_T 值可能减小(约 10%～20%)，而当皮肤完全破裂后，则 Z_T 接近于内阻抗 Z_i。

③对于电压为 230V 的标准值(网络－系统 3L+N－230V/400V)，可以假设人体的总阻抗值与接触电压为 225V 时相同。

④Z_T 值被舍入到 25Ω 的数值。

表 1-29 水湿润条件，大的接触表面积，50Hz/60Hz 交流电流路径为手到手的人体总阻抗 Z_T

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	1175	2175	4100
50	1100	2000	3675
75	1025	1825	3275
100	975	1675	2950
125	900	1550	2675
150	850	1400	2350
175	825	1325	2175
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050
渐近值=内阻抗	575	775	1050

注：①有些测定表明，电流路径为一手到一脚的人体总阻抗，稍低于电流路径为手到手的(10%～30%)。

②对于活人的 Z_T 值，相应于电流的持续时间约为 0.1s。对于更长的持续时间，Z_T 值可能减小(约 10%～20%)，而当皮肤完全破裂后，则 Z_T 接近于内阻抗 Z_i。

③对于电压为 230V 的标准值(网络－系统 3L+N－230V/400V)，可以假设人体的总阻抗值与接触电压为 225V 时相同。

④Z_T 值被舍入到 25Ω 的数值。

表 1-30 盐水润湿条件,大的接触表面积,50Hz/60Hz 交流电流路径为手到手的人体总阻抗 Z_T

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	960	1300	1755
50	940	1275	1720
75	920	1250	1685
100	880	1225	1655
125	850	1200	1620
150	830	1180	1590
175	810	1155	1560
200	790	1135	1530
225	770	1115	1505
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050
渐近值=内阻抗	575	775	1050

注:①有些测定表明,电流路径为一手到一脚的人体总阻抗,稍低于电流路径为手到手的人体总阻抗(10%～30%)。

②对于活人的 Z_T 值,相应于电流的持续时间约为 0.1s。对于更长的持续时间,Z_T 值可能减小(约 10%～20%),而当皮肤完全破裂后,则 Z_T 接近于内阻抗 Z_i。

③对于电压为 230V 的标准性(网络－系统 3L＋N－230V/400V),可以假设人体的总阻抗值与接触电压为 225V 时相同。

④Z_T 值被舍入到 5Ω 的数值。

如在附录 A(原规范中,下同)中说明的,在表 1-28～表 1-30 中所给出的数值,是从对尸体和活人(成年人、男人和女人)进行测定的结果推算出来的。

在电压高于 125V 的水湿润条件和电压高于 400V 的盐水湿润条件下的人体总阻抗与干燥条件的数值相同(见图 1-12)。

4.5.2 关于中等的和小的接触表面积的 50Hz/60Hz 的交流电流

人体内阻抗 Z_i 和人体初始电阻 R_o(见 4.6)的数值,仅是在很小程度上取决于接触表面积。

然而,当接触的表面积非常小为几平方毫米时,其数值是增加的。

皮肤被击穿(对接触电压超过大约 100V 和电流比较长的持续时间以后)以后,人体总阻抗 Z_T 接近于内阻抗 Z_i 的数值,而且仅在很小程度上取决于接触的表面积及其潮湿的条件。

在干燥、水湿润和盐水湿润条件下,对 50Hz 的交流接触电压 U_T 从 25V 变化至 200V,关于活人已进行的人体总阻抗 Z_T 与接触表面积之间关系的测定,是在附录 A 中予以说明的。

注:对接触电压在 200V 以上,关于人或尸体的表面积处于水湿润和盐水湿润条件的 Z_T 还没有有用的数据。

对 50Hz 的交流接触电压在 25～200V 的范围内,在干燥的条件下,对一个人关于电流路径为手到手的人体总阻抗 Z_T 与接触表面积(从 $1mm^2$ 直至最大约达 $8000mm^2$)之间所测定

的关系曲线，如图 1-13 所示。对于接触电压在 100V 以下，而且是只有几平方毫米数量级的小的接触表面积，所测定的偏差可能很容易达到平均值的约 50%，它取决于温度、压力、手掌中的部位等。

在左右两手的食指尖之间（接触表面积约 250mm^2）的人体总阻抗 Z_T，与 50Hz/60Hz 的交流接触电压从 25V 至 200V 范围之间的关系曲线，如图 1-14 中所示。

从图 1-14 中的 1 号曲线可推算出，对 200V 的接触电压，一根食指的部分阻抗为 1000Ω 的数量级。

在图 1-13 和图 1-14 中所表示的是仅对一个活人进行的人体总阻抗 Z_T 测定的结果。

关于活人的 5%、50%和 95%被测对象的人体总阻抗 Z_T，根据目前所获得的资料，是在干燥、水湿润和盐水湿润条件下，对于大的、中等的和小的接触表面积（数量级分别为 10000mm^2、1000mm^2和 100mm^2）给出的：

对于大的接触表面积，在表 1-28～表 1-30 中的数据，是在干燥、水湿润和盐水湿润条件下，关于 50Hz/60Hz 的交流接触电压 U_T 从 25～1000V 的范围给出的；

对于中等的接触表面积，在表 1-31～表 1-33 中所列的数据，是在干燥、水湿润和盐水湿润条件下，关于 50Hz/60Hz 的交流接触电压 U_T 从 25～200V 范围给出的。

对于小的接触表面积，出现在表 1-34～表 1-36 中的数据，是在干燥、水湿润和盐水湿润条件下，关于 50Hz/60Hz 的交流接触电压 U_T 从 25～200V 范围给出的。

表 1-31 干燥条件，中等的接触表面积，电流路径为手到手，50Hz/60Hz 交流接触电压 U_T 为 25～200V 的人体总阻抗 Z_T（舍入到 25Ω 的数值）

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	11125	20600	38725
50	7150	13000	23925
75	4625	8200	14750
100	3000	5200	9150
125	2350	4000	6875
150	1800	3000	5050
175	1550	2500	4125
200	1375	2200	3525

表 1-32 水湿润条件，中等接触表面积，电流路径为手到手，50Hz/60Hz 交流接触电压 U_T 为 25～200V 的人体总阻抗 Z_T（舍入到 25Ω 的数值）

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	5050	9350	17575
50	4100	7450	13700
75	3400	6000	10800
100	2800	4850	8525

续表

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的5%	被测对象的50%	被测对象的95%
125	2350	4000	6875
150	1800	3000	5050
175	1550	2500	4125
200	1375	2200	3525

表1-33 盐水湿润条件,中等接触表面积,电流路径为手到手,50Hz/60Hz交流接触电压 U_T 为25～200V的人体总阻抗 Z_T(舍入到5Ω的数值)

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的5%	被测对象的50%	被测对象的95%
25	1795	2425	3275
50	1765	2390	3225
75	1740	2350	3175
100	1715	2315	3125
125	1685	2280	3075
150	1660	2245	3030
175	1525	2210	2985
200	1350	2175	2935

表1-34 干燥条件,小的接触表面积,电流路径为手到手,50Hz/60Hz交流接触电压 U_T 为25～200V的人体总阻抗 Z_T(舍入到25Ω的数值)

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的5%	被测对象的50%	被测对象的95%
25	91250	169000	217725
50	74800	136000	250250
75	42550	74000	133200
100	23000	40000	70400
125	12875	22000	37850
150	7200	12000	20225
175	4000	6500	10725
200	3500	5400	8650

表1-35 水湿润条件,小的接触表面积,电流路径为手到手,50Hz/60Hz交流接触电压 U_T 为25～200V的人体总阻抗 Z_T(舍入到25Ω的数值)

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的5%	被测对象的50%	被测对象的95%
25	39700	73500	138175
50	29800	54200	99725

续表

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
75	22600	40000	72000
100	17250	30000	52800
125	12875	22000	37850
150	7200	12000	20225
175	4000	6500	10725
200	3500	5400	8650

表 1-36 盐水湿润条件,小的接触表面积,电流路径为手到手,50Hz/60Hz 交流接触电压电压 U_T 为 25～200V 的人体总阻抗 Z_T(舍入到 5Ω 的数值)

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	5400	7300	9855
50	5105	6900	9315
75	4845	6550	8840
100	4590	6200	8370
125	4330	5850	7900
150	4000	5550	7490
175	3700	5250	7085
200	3400	5000	6750

4.5.3 频率 20kHz 及以下的正弦交流电流

50Hz/60Hz 的人体总阻抗值在更高频率时由于皮肤电容的影响而下降;当频率高于 5kHz 时,则接近于人体内阻抗 Z_i。

频率为 20kHz 及以下,接触电压为 10V 和 25V 时所做的测量见附录 B。

图 1-18 所示为频率与人体总阻抗 Z_T 的关系,其电流路径为手至手、大的接触表面积、接触电压 10V 和频率由 25Hz 至 20kHz。

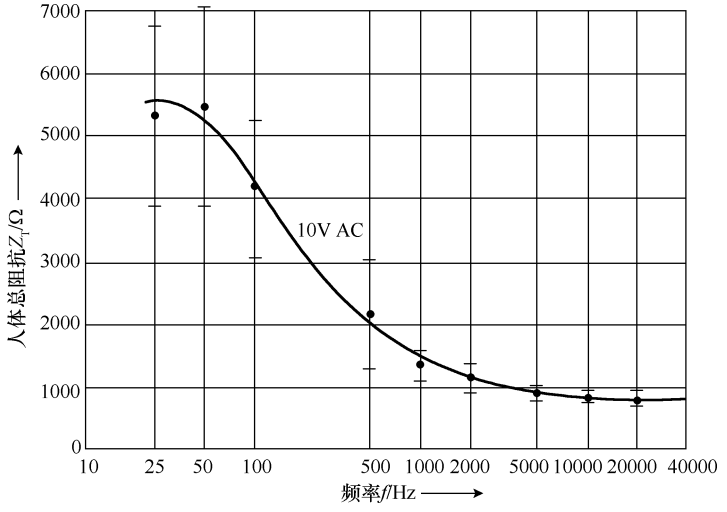


图 1-18 干燥条件,手到手的电流路径,大的接触表面积,接触电压为 10V 时,10 个活人测定的人体总阻抗 Z_T 与频率从 25Hz 至 20kHz 的关系曲线

图 1-19 所示为频率与人体总阻抗 Z_T 的关系,其电流路径为手到手、大的接触表面积、接触电压为 25V。由此结果推导出图 1-20 的一组曲线,它给出人群中 50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 与频率的依赖关系,其接触电压为 10～1000V、频率范围为 50～2000Hz、大的接触表面积和干燥条件下的电流路径为手到手或一手到一脚。

注:没有在水湿润和盐水湿润条件下进行过测量。

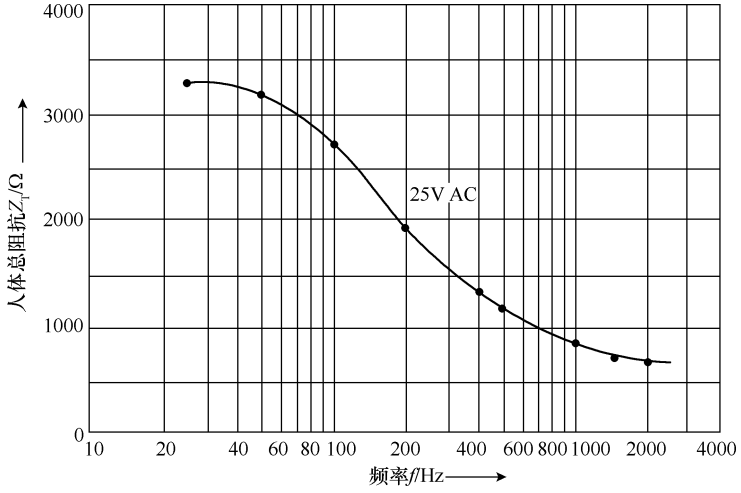


图 1-19 干燥条件,手到手的电流路径,大的接触表面积,接触电压为 25V 时,一个活人测定的人体总阻抗 Z_T 与频率从 25Hz 至 2kHz 的关系曲线

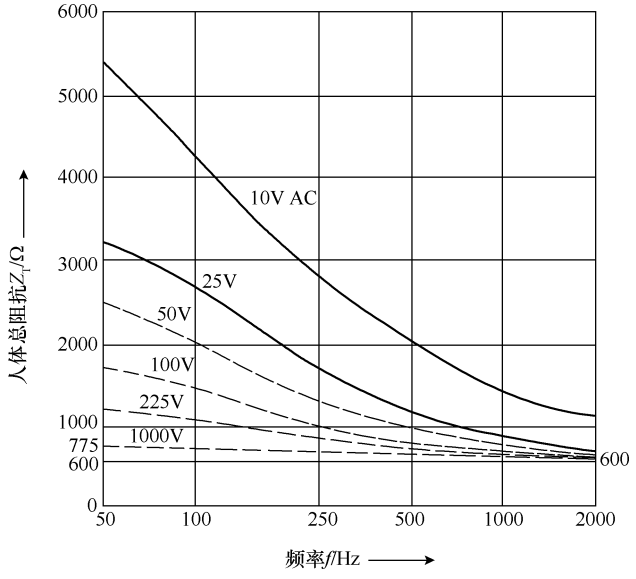


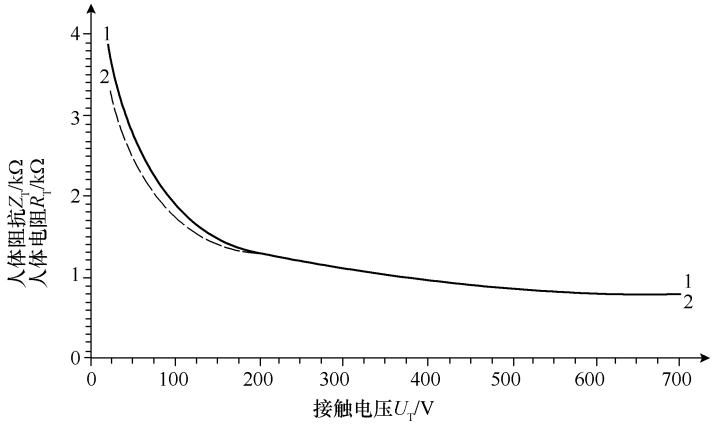
图 1-20 干燥条件,大的接触表面积,电流路径为手到手或一手到一脚,接触电压为 10～1000V,频率范围为 50～2000Hz,50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 与频率的关系曲线

4.5.4 直流电流

人体直流总电阻 R_T 在接触电压约为 200V 及以下时,由于人的皮肤电容的阻塞作用,比交流人体总阻抗 Z_T 高。

在干燥的条件下,用直流电流和大的接触表面积所做的测量如附录 C 所述。

用附录 C 所述方法确定的直流人体总阻抗 R_T 值列于表 1-37 中(见图 1-21 中的实线)。



1—直流的人体电阻 R_T；2—交流 50Hz 的人体阻抗 Z_T

图 1-21 干燥条件，电流路径为手到手，大的接触表面积，50Hz/60Hz 交流和直流接触电压至 700V 时，活人 50%被测对象的人体总阻抗 Z_T 和总电阻 R_T 测定的统计值

注：没有在水湿润和盐水湿润条件下进行过测定。

当忽略电压范围在 100V 以下，交流和直流的 Z_T 之间可能存在的微小差别时，对于水湿润和盐水湿润条件下的大的接触表面积的人体总电阻 R_T，可以足够精确地根据表 1-29 和表 1-30来确定。对于所有其他情况，交流的数据表可被用作保守的估计。

表 1-37 干燥条件，大的接触表面积，直流电流路径为手到手的人体总电阻 R_T

接触电压/V	不超过下列三项的人体总阻抗 Z_T 值/Ω		
	被测对象的 5%	被测对象的 50%	被测对象的 95%
25	2100	3875	7275
50	1600	2900	5325
75	1275	2275	4100
100	1100	1900	3350
125	975	1675	2875
150	875	1475	2475
175	825	1350	2225
200	800	1275	2050
225	775	1225	1900
400	700	950	1275
500	625	850	1150
700	575	775	1050
1000	575	775	1050
渐近值	575	775	1050

注：①有些测定表明，对电流路径为一手到一脚的人体总电阻 R_T，稍低于电流路径为手到手的值(10%～30%)。

②对于活人，R_T 的数值相应于电流的持续时间约为 0.1s。对于较长的持续时间，则 R_T 的数值可能减小(约 10%～20%)，在皮肤完全破裂后，R_T 接近于初始人体电阻 R_o。

③R_T 的数值舍入到 25Ω 的数值。

4.6 人体初始电阻(R_0)值

电流路径为手到手或一手到脚和大的接触表面积,对交流和直流的5%的人体初始电阻R的数值,都可取作等于500Ω。对被测对象50%和95%的值,分别可取作等于750Ω和1000Ω(类似于表1-28)。这些数值几乎与接触表面积和皮肤的状况没什么关系。

注:因为在刚一接触时,皮肤的电容和人体内部的电容都还未被充电,所以初始电阻R_0数值,与50Hz/60Hz的交流人体总阻抗ZT的渐近值和关于直流人体总电阻Z_T相比,都显稍低。

1.3 安全电压及电击防护的基本要求

1.3.1 电击防护的基本要求

规范引用 《低压电气装置 第4-41部分:安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)

410.3 通用要求

410.3.1 除另有注明者外,本标准中采用了如下的电压值:

——交流电压方均根值(r.m.s.);

——无纹波直流电压。

按习惯的定义,无纹波是指纹波电压方均根值不超过直流分量的10%。

410.3.2 保护措施应包括:

——基本保护措施和独立的故障保护措施的适当组合;或

——兼有基本保护和故障保护的加强保护措施。

附加保护是指在特定的外部影响条件下和在特定的特殊场所(见GB 16895系列标准中相应的第7部分)内增加的部分保护措施。

注:1. 对于特殊用途的保护措施,允许不遵循本条所表达的理念(见410.3.5和410.3.6条)。

2. 加强保护措施的例子是采用加强绝缘。

410.3.3 电气装置的不同部分应按外部影响条件的不同而分别采用一种或多种保护措施。

通常允许采用下列保护措施:

——自动切断电源(411条);

——双重或加强绝缘(412条);

——向单台用电设备供电的电气分隔(413条);

——特低电压(SELV和PELV)(414条)。

在设备的选择及安装中,应考虑上述电气装置保护措施的要求。

对于特殊装置,应满足410.3.4～410.3.9条的要求。

注:在电气装置中最常用的保护措施是自动切断电源。

410.3.4 对于特殊的装置或场所,应采用本系列标准中第7部分规定的特殊保护措施。

410.3.5 附录B中规定的保护措施,即采用阻挡物和置于伸臂范围之外的保护措施,应只用于由下列人员才可接近的装置:

——熟练或受过培训的人员；或

——在熟练或受过培训人员的监督下的人员。

410.3.6 在附录C中所规定的保护措施是：

——非导电场所；

——不接地的等电位联结；

——向多台用电设备供电的电气分隔。

上述保护措施只有在熟练或受过培训人员的操作或管理下的电气装置中才能使用，以杜绝未经授权的变动。

410.3.7 当不能满足对保护措施的某些要求时，应增加辅助保护措施，以获得所要求的安全效果。

注：此规则的应用例子见411.7条。

410.3.8 电气装置或该装置的一部分，以及电气设备本身所采用不同保护措施的相互之间不应存在不利影响，即其中某一保护措施的失效不应降低其他保护措施的有效性。

410.3.9 下列部分可以不采用故障保护（间接接触防护）措施：

——附设在建筑物上，且位于伸臂范围之外的架空线绝缘子的金属支架；

——架空线钢筋混凝土电杆内触及不到的钢筋；

——尺寸很小（约小于50mm×50mm），或因其部位不可能被人抓住或不会与人体部位有效接触，而且难以连接保护导体或即使连接，其连接也不可靠的外露可导电部分。

注：上述例子有螺栓、铆钉、铭牌和电缆夹子。

——符合412条要求的敷设线路金属管或用于保护设备的金属外护物。

1.3.2 电击防护的保护措施

规范引用 《低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)

411 保护措施：自动切断电源

411.1 通则

自动切断电源作为保护措施要求：

——带电部分采用符合附录A要求的基本绝缘、遮拦或外护物作为基本保护；

——采用符合411.3至411.6条要求的保护等电位联结和在故障的情况下自动切断电源作为故障防护。

注1：采用此保护措施时，也可使用Ⅱ类设备。

当有具体规定时，可采用符合415条要求的额定剩余电流动作值不超过30mA的剩余电流保护器（RCD）作附加保护措施。

注2：剩余电流监测器（RCM）不是保护性电器，但是可用于监测电气装置的剩余电流。当剩余电流超过预定值时，RCM就会发出音响或声光信号。

411.2 对基本保护的要求

所有电气设备的装用均应具有附录A（条件合适时为附录B）所述的基本保护（直接接触防护）措施之一。

411.3 对故障保护的要求

411.3.1 保护接地和保护等电位联结

411.3.1.1 保护接地

外露可导电部分应按411.4至411.6条所述的各种系统接地类型的具体条件,与保护导体连接。

可同时触及的外露可导电部分应单独地、成组地或共同地连接到同一个接地系统。

保护接地的导体应符合《建筑物电气装置 第5-54部分:电气设备的选择和安装接地配置、保护导体和保护联结导体》(GB 16895.3—2004)的规定。

每一回路均应具有连接至相关的接地端子的保护导体。

411.3.1.2 保护等电位联结

每个建筑物内的接地导体、总接地端子和下列可导电部分均应实施保护等电位联结:

——进入建筑物的供应设施的金属管道,如燃气管、水管等;

——在正常使用时可触及的装置外可导电结构、金属的集中供热和空调系统;

——便于利用的钢筋混凝土结构中的钢筋。

自建筑物外进入的上述可导电部分,应尽可能在靠近入户处进行等电位联结。

保护等电位联结的导体应符合《建筑物电气装置 第5-54部分:电气设备的选择和安装接地配置、保护导体和保护联结导体》(GB 16895.3—2004)的规定。

通信电缆的金属护套应作保护等电位联结,这时应考虑通信电缆的业主或管理者的要求。

411.3.2 *在故障情况下的自动切断电源*

411.3.2.1 除411.3.2.5和411.3.2.6条规定的要求外,如在有关回路或设备内的线导体和外露可导电部分或保护导体之间发生阻抗可忽略不计的故障,保护电器应在411.3.2.2、411.3.2.3或411.3.2.4条所要求的切断电源时间内自动切断该回路或设备的线导体。

注:1. 在公共电网的配电、发电和输电系统内,其切断电源的时间允许比本条所规定的时间更长。

2. 在GB 16895系列标准第7部分中的特殊装置或场所内,其切断电源的时间可能要求更短。

3. 在IT系统内发生第一次故障时(见411.6.1条),通常不要求自动切断电源。发生第一次故障后切断电源的要求详见411.6.4条。

411.3.2.2 对于不超过32A的终端回路,其最长的切断电源的时间见表1-38。

表1-38 最长的切断时间

系统	$50V<U_0\leqslant120V$ s		$120V<U_0\leqslant230V$ s		$230V<U_0\leqslant400V$ s		$U_0>400V$ s	
	a.c.	d.c	a.c.	d.c	a.c.	d.c	a.c.	d.c
TN	0.8	注①	0.4	5	0.2	0.4	0.1	0.1
TT	0.3	注①	0.2	0.4	0.07	0.2	0.04	0.4

当TT系统内采用过电流保护电器切断电源,且其保护等电位联结连接到电气装置内的所有装置外可导电部分时,该TT系统可以采用表中TN系统最长的切断电源时间。

U_0:交流或直流线对地的标称电压。

注:①切断电源的时间要求可能是为了电击防护之外的原因。

②采用剩余电流保护器(RCD)切断电源的时间要求见411.4.4条的注、411.5.3条的注4和411.6.4条b)的注。

411.3.2.3 在TN系统内的配电回路和411.3.2.2条规定之外的回路,其切断电源的

时间不允许超过 5s。

411.3.2.4 在 TT 系统内的配电回路和 411.3.2.2 条规定之外的回路，其切断电源的时间不允许超过 1s。

411.3.2.5 如果一标称电压大于交流 50V 或直流 120V 的系统，在发生对保护导体或对地故障时，其电源的输出电压能在 5s 以内下降至等于或小于交流 50V 或直流 120V，则其自动切断电源的时间要求可不需满足 411.3.2.2、411.3.2.3 或 411.3.2.4 条的要求。此时，切断电源的时间要求不是出于电击防护的考虑。

411.3.2.6 如果自动切断电源的时间不能满足 411.3.2.1、411.3.2.2、411.3.2.3 或 411.3.2.4 条的要求时，应按 415.2 条的规定采取辅助保护等电位联结措施。

411.3.3 附加保护

对于下列情况的交流系统，应根据 415.1 条的规定采用剩余电流保护器(RCD)作为附加保护措施：

——额定电流不超过 20A，供一般人使用的普通用途的插座；

注：下列情况可以例外：

——在由熟练或受过培训的人员监管下使用的插座，如在一些商业或工业场所内装用插座；或

——接用特殊设备的特殊插座。

——额定电流不超过 32A 的户外移动式设备。

411.4 TN 系统

411.4.1 在 TN 系统中，电气装置的接地是否完好，取决于 PEN 或 PE 导体对地的可靠有效连接。如果电气装置的接地是设置在公用电网或其他电源系统中，则该电网的工作人员应承担电气装置外部条件有关的电气安全责任。

注：上述电气安全要求举例如下：

——PEN 线应多点接地，并应尽量减少 PEN 线中断的危险；

——$R_B/R_E \leqslant 50/(U_0-50)$

式中 R_B——PEN 线多点接地的并联接地极的接地电阻(Ω)；

R_E——当线导体通过不连接到保护导体的装置外可导电部分可能发生接地故障时的对地最小接触电阻(Ω)；

U_0——对地标称交流电压方均根值(V)。

411.4.2 供电系统的中性点或中间点应接地。如果该系统没有中性点或中间点或其中性点或中间点未从电源设备引出，则应将一个线导体接地。

电气装置的外露可导电部分应通过保护导体接至装置的总接地端子，该总接地端子应连接至供电系统的接地点。

注 1：如果存在其他有效的接地连接点，建议尽可能地将保护导体也连接至那些接地点上。附加接地点宜均匀分布，它可在发生接地故障时使保护导体的电位尽量接近地电位。

在诸如高层建筑的大型建筑物内，实际上保护导体不可能做附加接地。在这些建筑物的保护导体和装置外可导电部分之间做保护等电位联结，可起到类似附加接地的作用。

注 2：保护导体(PE 导体或 PEN 导体)宜在进入建筑物处接地，这里已考虑了中性导体电流的分流。

411.4.3 如能够满足 GB 16895 系列标准 543.4 条的要求，固定安装的电气装置，可用一根导体兼作保护导体和中性导体(即 PEN 导体)。在 PEN 导体中不应插入任何开关或隔离器件。

411.4.4 保护电器(见 411.4.5 条)的特性以及回路的阻抗应满足下列要求：

$$Z_S \times I_a \leqslant U_0$$

式中 Z_S——故障回路的阻抗(Ω),它包括下列部分的阻抗:

电源;

电源至故障点的线导体;

故障点和电源之间的保护导体。

I_a——在411.3.2.2或411.3.2.3条规定的时间内能使切断电器自动动作的电流(A)。采用剩余电流保护器时,其动作电流是按照411.3.2.2或411.3.2.3条规定的时间内切断电源的剩余动作电流。

U_0——标称交流或直流线对地电压(V)。

注:当采用剩余电流保护器(RCD)来执行此条规定时,满足表1-38条规定的切断电源时间要求的预期剩余故障电流,显著大于RCD的额定剩余动作电流 $I_{\Delta n}$(此预期剩余故障电流通常为 $5I_{\Delta n}$)。

411.4.5 下列保护电器可用作TN系统的故障保护(间接接触防护):

——过电流保护电器;

——剩余电流保护器(RCD)。

注1:采用RCD作为防接地故障保护时,还宜采用符合《低压电气装置 第4-43部分:安全防护 过电流保护》(GB 16895.5—2012)的过电流保护电器来保护该回路。

剩余电流保护器(RCD)不应用于TN-C系统。

在TN-C-S系统中采用RCD时,在RCD的负荷侧不得再出现PEN导体。应在RCD的电源侧将PE导体从PEN导体分接出来。

注2:如RCD之间需要具有保护选择性,见《建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第53章:开关设备和控制设备》(GB 16895.4—1999)的535.3条。

411.5 TT系统

411.5.1 由同一个保护电器保护的所有外露可导电部分,都应通过保护导体连接至这些可导电部分共用的接地极上。多个保护电器串联使用时,每个保护电器所保护的所有外露可导电部分,都要分别符合这一要求。

供电系统的中性点或中间点应接地。如果该系统没有中性点或中间点或其中性点或中间点未从电源设备引出,则应将一线导体接地。

411.5.2 在TT系统中通常采用RCD作防接地故障保护。当故障回路的阻抗 Z_S 值足够小,且确保其值可靠又能保持稳定时,也可选用过电流保护电器用于接地故障保护。

注1:采用RCD作为防接地故障保护时,还宜采用符合《低压电气装置 第4-43部分:安全防护 过电流保护》(GB 16895.5—2012)的过电流保护电器来保护该回路。

注2:本标准不涉及故障电压动作型保护器的应用。

411.5.3 采用剩余电流保护器作为故障保护时,应满足下列条件:

1)切断电源的时间符合411.3.2.2或411.3.2.4条的要求;和

2)$R_A \times I_{\Delta n} \leqslant 50V$

式中 R_A——外露可导电部分的接地极和保护导体的电阻之和(Ω);

$I_{\Delta n}$——RCD的额定剩余动作电流(A)。

注1:如果故障点阻抗并非可忽略不计,仍可实现故障保护。

注2:如RCD之间需具有保护动作的选择性,详见《建筑物电气装置 第5部分:电气设备的选择和安装 第53章:开关设备和控制设备》(GB 16895.4—1999)的535.3条。

注3:如果RA未知,可用ZS代替。

注4:满足表1-38条规定的切断电源时间要求的预期剩余故障电流,显著大于RCD的额定剩余动作电流 $I_{\Delta n}$(此预期剩余故障电流通常为 $5I_{\Delta n}$)。

411.5.4 采用过电流保护电器时,应满足下列条件:

$$Z_S \times I_a \leqslant U_0$$

式中 Z_S——故障回路的阻抗(Ω),它包括下列部分的阻抗:

电源;

电源至故障点的线导体;

外露可导电部分的保护导体;

接地导体;

电气装置的接地极;

电源的接地极。

I_a——在411.3.2.2或411.3.2.4条规定的时间内能使切断电器自动动作的电流(A)。

U_0——交流或直流线对地电压(V)。

411.6 IT系统

411.6.1 在IT系统中,带电部分应对地绝缘或通过一足够大的阻抗接地。接地点可在系统的中性点或中间点,也可在人工中性点。如果在系统频率下人工中性点的阻抗足够大,后者可直接接地。如果没有中性点或中间点,一线导体可通过一个大阻抗接地。

在发生带电导体对外露可导电部分或对地的单一故障时由于故障电流小,如能满足411.6.2条规定的条件,就没有必要按411.3.2条自动切断电源。但应采取措施避免同时存在两个故障,以避免出现人体同时接触不同电位的外露可导电部分而产生有害的病态生理效应的危险。

注:为了减小过电压或衰减其电压振荡,可能需要通过阻抗或人工中性点接地,这种接地的特性宜与装置的具体要求相适应。

411.6.2 外露可导电部分应单独地、成组地或共同地接地。

应满足以下条件:

——交流系统 $R_A \times I_d \leqslant 50V$;

——直流系统 $R_A \times I_d \leqslant 120V$。

式中 R_A——外露可导电部分的接地极和保护导体的电阻之和(Ω);

I_d——发生第一次接地故障时,在线导体和外露可导电部分之间的阻抗可忽略不计的情况下的故障电流(A);I_d值考虑了泄漏电流和电气装置的总接地阻抗。

411.6.3 IT系统可以采用下列监视器和保护电器:

——绝缘监视器(IMD);

——剩余电流监视器(RCM);

——绝缘故障定位系统;

——过电流保护器;

——剩余电流保护器(RCD)。

注:如果采用RCD作为保护,在发生第一次故障时,由于容性泄漏电流的原因不能排除RCD的误动作。

411.6.3.1 为了提高供电的连续性而采用IT系统时,应设置绝缘监视器以检测第一

次带电部分与外露可导电部分或与地之间的故障。此绝缘监视器应发出音响信号和(或)发光信号,一直持续到故障被消除为止。

如果同时发出了音响信号和发光信号,允许解除音响信号。

注:建议在尽可能短的实际延续时间内消除第一次故障的状态。

411.6.3.2 除装用保护电器为了在发生第一次接地故障时即切断电源的情况外,可采用 RCM 或绝缘故障定位系统来显示出现第一次带电部分与外露可导电部分或与地之间的故障。此绝缘监视器应连续发出音响和(或)一直持续到故障被消除为止的视觉信号。

如果同时发出音响和视觉信号,允许解除音响信号,但视觉报警应一直持续到故障被消除为止。

注:建议在尽量短的时间内消除第一次故障。

411.6.4 发生第一次故障后在不同带电部分又发生第二次故障时,自动切断电源的条件应按如下要求:

a)当所有外露可导电部分通过保护导体连接到同一接地系统时,其自动切断电源条件与 TN 系统的情况相似,即应满足下列条件:

如果交流系统的中性导体和直流系统的中间导体不配出时

$$2I_a \times Z_S \leqslant U$$

或如果配出中性导体或中间导体时

$$2I_a \times Z'_S \leqslant U_0$$

式中 U_0——线导体与中性导体或中间导体之间的标称交流电压或直流电压(V);

U——线导体之间的标称交流电压或直流电压(V);

Z_S——包括线导体和保护导体的故障回路的阻抗(Ω);

Z'_S——包括中性导体和保护导体的故障回路的阻抗(Ω);

I_a——按 411.3.2.2 条中对 TN 系统规定的时间内或按 411.3.2.3 条规定的时间内,使保护电器动作的电流(A)。

注 1:411.3.2.2 条的表 1-38 中对 TN 系统规定的时间,也适用于配出或不配出中性导体或中间导体的 IT 系统。

注 2:上述公式中的系数 2 考虑了同时发生两个故障,且两个故障可能发生在不同的回路内的情况。

注 3:宜考虑最严重情况下的故障回路阻抗值,例如,当一个故障发生在电源的线导体上,同时另一个故障发生在回路中用电设备的中性导体上时的故障回路阻抗值。

b)当外露可导电部分成组地或单独地接地时,其条件如下:

$$R_A \times I_d \leqslant 50\text{V}$$

式中 R_A——外露可导电部分的接地极和保护导体的电阻之和(Ω);

I_a——按 411.3.2.2 条的表 1-38 中用于 TT 系统或 411.3.2.4 条规定的时间内,能使切断电器自动动作的电流(A)。

注 4:当采用剩余电流保护器(RCD)来满足 b)项要求时,为按表 1-38 规定满足 TT 系统切断电源的时间要求,可能要求预期的剩余电流显著大于装用的 RCD 的额定剩余动作电流 $I_{\Delta n}$(此预期剩余故障电流通常为 $5I_{\Delta n}$)。

411.7 功能特低电压(FELV)

411.7.1 通则

由于功能上的原因使用了标称电压不超过交流 50V 或直流 120V,但不能满足 414 条中有关 SELV 或 PELV 的所有要求,而且也不需要采用 SELV 或 PELV 时,应采用 411.7.2

和 411.7.3 条所述的辅助措施，以保证基本保护和故障保护。这种组合的保护措施称为 FELV。

注：例如，回路中含有对较高电压的回路不具备充分绝缘的设备（如变压器、继电器、遥控开关，接触器）时，这种情况是可能遇到的。

411.7.2 对基本保护的要求

基本保护应由以下措施之一来实现：

——采用符合附录 A.1 条中适应电源一次回路标称电压的基本绝缘；或

——装设符合附录 A.2 条的遮栏或外护物。

411.7.3 对故障保护的要求

当一次回路采用 411.3 至 411.6 条规定的自动切断电源的保护措施时，应将 FELV 回路中的设备外露可导电部分与电源一次回路的保护导体连接。

411.7.4 电源

FELV 系统的电源应是绕组之间至少采用简单分隔的变压器，或是符合 414.3 条的要求。

注：如果 FELV 系统经一设备由较高电压的系统供电，但该设备在较高电压和 FELV 系统之间不具备至少为简单分隔的条件（如自耦变压器、电位器、半导体器件等），则其输出回路只能视为输入回路的延伸，而且 FELV 回路宜由装设在输入回路上的保护措施予以保护。

411.7.5 插头和插座

FELV 系统的插头和插座应符合下列要求：

——插头不可能插入其他电压系统的插座；

——插座不可能被其他电压系统的插头插入；

——插座应具有保护导体的接点。

412 保护措施：双重绝缘或加强绝缘

412.1 通则

412.1.1 双重绝缘或加强绝缘用作保护措施时，要求：

——基本保护借基本绝缘来实现，故障保护借附加绝缘来实现；

——基本保护和故障保护两者都藉在带电部分和可触及部分之间的加强绝缘来实现。

注：本措施用以防止电气设备的可触及部分因基本绝缘故障而出现危险电压。

412.1.2 除 GB 16895 系列标准第 7 部分规定的一些限制外，采用双重绝缘或加强绝缘的保护措施适用于所有场合。

412.1.3 当将此种保护措施用作唯一的保护措施时（即整个装置或回路全部由具有双重绝缘或加强绝缘的设备组成），应认定该装置或回路在正常使用中是处在有效的监管下的，不可能因被改动而降低保护措施的有效性。所以，此保护措施不得采用于含有插座的回路内，也不得采用于使用者未经监管人员许可随意更换电气设备的场所。

412.2 对基本保护和故障保护的要求

412.2.1 电气设备

当完整的电气装置或电气装置的一部分采用双重绝缘或加强绝缘的保护措施时，所使用的电气设备应符合下列条款中之一：

——412.2.1.1 条；

——412.2.1.2 和 412.2.2 条；

——412.2.1.3 和 412.2.2 条。

412.2.1.1 电气设备应是下列类型的,其型式试验和标志应遵循相关的标准:

——具有双重绝缘或加强绝缘的电气设备(Ⅱ类设备);

——在相关的产品标准中标明它等效于Ⅱ类电气设备,如全绝缘的成套电气设备。

注:按 IEC60417-5172 标准:Ⅱ类设备用符号标识。

412.2.1.2 对只具有基本绝缘的设备,在电气装置的安装过程中应增设附加绝缘,使其具有与 412.2.1.1 条的设备相同的安全等级,并符合 412.2.2.1 至 412.2.2.3 条的要求。

注:在外护物的外面和里面的明显易见处宜以符号标识。见 IEC60417-5019(DB:2002-10):保护接地。

412.2.1.3 对于有未加绝缘的带电部分的电气设备,在电气安装过程中应增设加强绝缘,使其具有与 412.2.1.1 条所述设备相同的安全等级,并符合 412.2.2.2 和 412.2.2.3 条的要求;由于设备结构上的原因无法采用双重绝缘,只能采用加强绝缘。

注:在外护物的外面和里面的明显易见处宜以符号标识。见 IEC60417-5019:保护接地。

412.2.2 外护物(外壳)

412.2.2.1 对于即将投入工作的电气设备,如果其带电部分只用基本绝缘与其可导电部分相隔开,则该设备应置于保护等级至少为 IP××B 或 IP2×的绝缘外护物内。

412.2.2.2 应符合下列要求:

——绝缘外护物不应被可引入电位的可导电部分穿通;

——绝缘外护物不应含有用绝缘材料制作的螺栓或其他固定部件,因这种物件在安装和维护期时需要或易被拆卸。如果它被金属的螺栓或其他安装部件替代时可能降低外护物的绝缘功能。

当有机械连接件必须穿过绝缘外护物时(如有操作外护物内器件的操作手柄),则宜使此连接件的设置不降低故障时的电击防护功能。

412.2.2.3 当绝缘外护物有不用工具或钥匙能打开的盖或孔时,盖或孔打开时能触及的所有可导电部分应设在防护等级不低于 IP××B 或 IP2×的绝缘遮栏后面,以防止人员无意识地触及该可导电部分。该绝缘遮栏应只能用工具才能挪动。

412.2.2.4 绝缘外护物内的可导电部分不应连接保护导体。但是,对于需要穿过该外护物以用作其他电气设备的保护导体(其电源回路也穿过该外护物),则应予以通过。在外护物内,这种保护导体及其端子应该当作带电导体加以绝缘,其端子应按 PE 端子予以标识。

除设备技术说明书中另有规定者外,外露可导电部分和中间部分不应连接保护导体。

412.2.2.5 在按本条保护措施设置外护物后不应对设备的工作产生不利的影响。

412.2.3 安装

412.2.3.1 按 412.2.1 条的规定进行设备安装(进行固定或连接导体等)时,不应降低设备说明书规定的设备本身具有的保护功能。

412.2.3.2 除按 412.1.3 条执行的情况外,Ⅱ类设备的电源回路内应具有回路保护导体,且敷设到线路的每一点和每个附件的终端。

注:此要求考虑了用户使用Ⅰ类设备取代Ⅱ类设备的可能性。

412.2.4 布线系统

412.2.4.1 符合《建筑物电气装置 第 5 部分:电气设备的选择和安装 第 52 章:布线系统》(GB 16895.6—2000)中安装的布线系统视为满足 412.2 条的要求,如果:

——布线系统的额定电压不应小于系统的标称电压，并至少为 300/500V；

——基本绝缘的足够机械保护功能。采用下列一种或多种方式来实现：

a)非金属护套的电缆；或

b)线路敷设在符合 IEC61084 标准系列的非金属线槽或槽盒内，或符合 IEC60614 或 IEC61386 标准系列的非金属导管内。

注 1：电缆的产品标准中未规定其耐冲击电压能力，但规定电缆系统的绝缘至少满足《电击防护 装置和设备的通用部分》(GB/T 17045—2008)标准中对于加强绝缘的要求。

注 2：这些布线系统不宜用 IEC60417—5172 标准的符号和 IEC60417—5019 标准的符号来标识。

413 保护措施：电气分隔

413.1 通则

413.1.1 电气分隔是一种保护措施，在此措施中：

——基本保护是按附录的规定在带电部分上覆以基本绝缘或安装遮拦或外护物；

——故障保护是在被分隔回路与其他回路或与地之间做简单分隔。

413.1.2 此种保护措施只能用于由满足简单分隔要求的不接地的电源供电给一台用电设备的情况，但 413.13 条允许的例外情况除外。

注：采用这一保护措施时，特别重要的是基本绝缘是否满足产品标准的要求。

413.1.3 当由一个简单分隔的不接地的电源供电给多台用电设备时，应满足附录 C 中 C3 条的要求。

413.2 对基本保护的要求

所有用电设备应满足附录 A 中的一项基本保护的要求，或满足 412 条中保护措施的要求。

413.3 对故障保护的要求

413.3.1 应按 413.3.2 至 413.3.6 条的规定来实现电气分隔的保护作用。

413.3.2 被分隔回路的电源应至少是一个简单分隔的电源，被分隔回路的电压不得超过 500V。

413.3.3 被分隔回路的带电部分不应在任一点上的其他回路的带电部分、地以及保护导体相连接。

为确保电气上的分隔，不同回路之间应具有基本绝缘。

4133.4 被分隔回路内的软电缆和护套电线，其可能遭受机械损伤的线段，应全部是明露可见的。

413.3.5 建议将被分隔回路与其他回路分开敷设。如果在同一线路通道内敷设，建议被分隔回路采用无金属外皮的多芯电缆、穿绝缘套管、绝缘线槽或绝缘槽盒的绝缘电线，这时应满足以下要求：

——被分隔回路的额定电压不低于其他回路中最高的标称电压；

——每个回路具有过电流保护。

413.3.6 被分隔回路的可导电部分不得与地或其他回路保护导体及外露可导电部分连接。

注：如果被分隔回路的外露可导电部分易于被有意或无意地与其他回路的外露可导电部分接触，则电击防护不再仅靠电气分隔来实现，还要依靠其他回路的外露可导电部分的电击防护措施来实现。

414 保护措施：采用 SELV 和 PELV 的特低电压

414.1 通则

414.1.1 特低电压作为保护措施包含如下两种不同的特低电压系统:

——SELV;

——PELV。

这一保护措施要求:

——限制 SELV 或 PELV 系统的电压,使其不超过电压区段 I 的上限值,即交流 50V 或直流 120V[见《建筑物电气装置的电压区段》(GB/T 18379—2001)];

——在 SELV 或 PELV 系统与非 SELV 和 PELV 回路的所有其他回路之间作保护分隔,在 SELV 或 PELV 系统与其他 SELV 或 PELV 系统之间设置基本绝缘;

——在 SELV 系统和地之间设置绝缘。

414.1.2 按 414 条规定采用的 SELV 和 PELV 是可用于所有情况的保护措施。

注:在 GB 16895 系列标准第 7 部分中,在某些情况下将特低电压的上限值规定为比交流 50V 或直流 120V 更低的值。

414.2 对基本保护和故障保护的要求

在下列情况下可认为已实现了基本保护和故障保护的要求:

——系统的标称电压不超过电压区段 I 的上限值;

——特低电压系统的电源是符合 414.3 条规定的电源中的一种;

——满足 414.4 条规定的要求。

注 1:如果特低电压系统经一电气设备自较特低电压高的电压的系统供电,两系统间虽至少实现了简单分隔,但不能满足 414.3 条规定的 SELV 和 PELV 对电源的要求,这时可按 FELV 的要求来实施,见 411.7 条。

注 2:由半导体变换器产生的特低电压回路的直流电压(见 IEC60146—2),在变换器内需由一交流电压回路来给整流堆供电。由于物理方面的原因,此交流电压虽高于直流电压,但这一内部交流回路不能视为本条文意义上的较高电压回路,而在内部交流回路和外部较高电压交流回路之间则要求设置保护分隔。

注 3:在内有蓄电池的直流系统内,视蓄电池类型的不同,蓄电池的充电电压和浮充电压大于其标称电压。这一情况的出现并不要求在本条规定之外再增加保护措施。蓄电池的充电电压最大不宜超过交流 75V 或直流 150V,可按 IEC61201 中表 1 的数据视环境条件而定。

414.3 SELV 和 PELV 的电源

下列电源可用于 SELV 和 PELV 系统:

414.3.1 符合 IEC61558—2—6 标准的安全隔离变压器。

414.3.2 安全等级等同于符合 414.3.1 条规定的安全隔离变压器的电流源(如绕组具有等同隔离功能的电动发电机组)。

414.3.3 电化学电源(如蓄电池)或其他独立于较高电压回路的电源(如内燃机发电机组)。

414.3.4 某些符合相应标准的电子器件采取了措施以确保即使其内部发生故障,其输出端子上的电压也不可能超过 414.1.1 条规定的电压值。允许在这种器件的出线端子上出现较高电压,但需确保当人体触及带电部分或当带电部分与外露可导电部分间发生故障时,出线端子上的电压能立即下降至 414.1.1 条规定的值或更低值。

注 1:这种器件的例子有绝缘测试设备和绝缘监测器。

注 2:当在电源的出线端子上出现较高电压时,如果用内阻至少为 3000Ω 的电压表测得出线端子上的电压符合 414.1.1 条规定的限值,则可认为该电源仍符合本条的要求。

414.3.5 低压供电的移动式电源，如安全隔离变压器或电动发电机组，其绝缘应按双重或加强绝缘的要求来选用或安装（见412条）。

414.4 对SELV和PELV回路的要求

414.4.1 SELV和PELV回路应具有：

——带电部分与其他SELV或PELV回路间的基本绝缘；及

——与非SELV或PELV的其他回路带电部分间的保护分隔，采用双重或加强绝缘，或基本绝缘加上按其中最高电压设置的保护屏蔽来实现。

SELV回路的带电部分与地间应具有基本绝缘。

PELV回路和（或）由/PELV回路供电的设备的外露可导电部分可以接地。

注1：诸如继电器、接触器、辅助开关之类的电气设备的带电部分和较高电压回路之间或和FELV回路之间特别需要采取分隔措施。

注2：PELV回路的接地可通过与地的连接或通过与电源本身接地的保护导体的连接而实现。

414.4.2 SELV和PELV回路布线系统与至少具有基本绝缘的其他回路的带电部分间的保护分隔可通过下列方式之一来实现：

——SELV和PELV的回路导体除具有基本绝缘外还应具有绝缘护套，或应将它置于绝缘的外护物内；

——SELV和PELV的回路导体应用接地的金属护套或接地的金属屏蔽物与电压高于电压区段I的回路导体隔开；

——SELV和PELV的回路导体可与高于电压区段I的回路导体共处于一多芯电缆或导体组内，但SELV或PELV导体应按其中最高的电压加以绝缘；

——与SELV和PELV的回路作电气分隔的其他回路的布线应符合412.2.4.1条的规定；

——将SELV和PELV回路与其他回路拉开距离。

414.4.3 SELV和PELV系统内的插头和插座应符合下列要求：

——插头应不能插入其他电压系统的插座内；

——插座应不能被其他电压系统的插头插入；

——SELV系统的插头和插座不应具有保护线的接点。

414.4.4 SELV回路内的外露可导电部分不得与地、保护导体以及其他回路的外露可导电部分作电气连接。

注：如果SELV回路的外露可导电部分易于被有意或无意地与其他回路的外露可导电部分接触，则电击防范不再仅依靠SELV来实现，还要依靠其他回路外露可导电部分的电击防护措施来实现。

414.4.5 如果SELV和PELV回路的标称电压超过交流25V或直流60V，或电气设备被液体浸没，这时应采用下列的一种基本保护：

——符合附录A中A.1条的绝缘；

——符合附录A中A.2条要求的遮拦物或外护物。

在正常的干燥环境内不必为下列特低电压回路设置基本保护：

——标称电压不超过交流25V或直流60V的SELV回路；

——标称电压不超过交流25V或直流60V的PELV回路，其外露可导电部分和（或）带电部分通过保护导体与总接地端子相连通。

在所有情况下，如果标称电压不超过交流12V或直流30V，SELV或PELV系统不要求

设置基本保护。

415 附加保护

注:在某些受外界影响的情况下或在某些特殊场所内,可另外规定保护措施作为附加保护(见 GB 16895 系列标准中第 7 部分)。

415.1 附加保护:剩余电流保护器(RCD)

415.1.1 在交流系统内装设额定剩余电流不大于 30mA 的 RCD,用以在基本保护失效时作为附加保护措施,它也可用作故障保护或用电不慎时的人身保护。

415.1.2 不能将 RCD 的装用作为唯一的保护措施,也不能为它的装用而取消按照 411 条至 414 条规定的其中一种保护措施。

415.2 附加保护:辅助等电位联结

注 1:辅助等电位联结被认为是故障保护的附加保护。

注 2:实施辅助等电位联结后,为了其他原因如对火灾以及电气设备内热效应等的防护,发生故障时仍需切断电源。

注 3:辅助电位联结可涵盖电气装置的全部或一部分,或涵盖一台电气设备或一个场所。

注 4:由于特殊场所的特殊要求(见 GB 16895 系列标准中第 7 部分)或由于其他原因可能需要对辅助等电位联结规定附加的要求。

415.2.1 辅助等电位联结应包括可同时触及的固定式电气设备的外露可导电部分和装置外可导电部分,如果可能也包括钢筋混凝土结构内的主筋。辅助等电位联结系统应与所有电气设备以及插座的保护导体相连接。

415.2.2 如果不能肯定辅助等电位联结的有效性,应判定可同时触及的外露可导电部分和装置外可导电部分之间的电阻 R 是否满足下式要求:

在交流系统内 $$R\leqslant\frac{50\text{V}}{I_a}$$

在直流系统内 $$R\leqslant\frac{120\text{V}}{I_a}$$

式中 I_a——为保护电器的动作电流,单位为(A)

——对于剩余电流保护器(RCD)为 $I_{\Delta n}$;

——对于过电流保护电器为 5s 内动作的电流。

附录 A(规范性附录)基本保护的保护措施

注:基本保护的保护措施用于在正常情况下实现保护,它是保护措施的组成部分。

A.1 带电部分的基本绝缘

注:这一绝缘用于防止与带电部分的接触。

带电部分应完全用绝缘覆盖,这一绝缘只有被破坏才能除去。

就电气设备而言,其绝缘应符合该设备的有关标准。

A.2 遮拦物或外护物(外壳)

注:遮拦物或外护物用于防止与带电部分的接触。

A.2.1 带电部分应置于防护等级至少为 IP××B 或 IP2× 的外护物之内或遮拦物之后。但下述情况除外:更换如灯头或熔断器等设备部件时出现的大开孔,或设备要求需要有大的开孔以实现其正常功能。这时应满足下列要求:

——采取适当措施防止人员或家畜意外接触带电导体;及

——尽可能明确提醒人们穿过开孔就可能触及带电部分,也不要有意地与它接触;

——只要能满足设备正常发挥功能和更换部件的要求，开孔应尽量小。

A.2.2 易于触及的遮拦或外护物的水平顶面的防护等级应至少为IP××D或IP4×。

A.2.3 遮拦物和外护物应牢固地固定在其位置上，并应具有足够的稳定性和耐久性，在已知正常工作条件和外界环境影响下能保持所要求的防护等级以及与带电部分间的适当的分隔。

A.2.4 在满足下列条件之一的情况下，才可能移动遮拦物或打开外护物或挪动外护物的部件：

——使用钥匙或工具；

——切断遮栏物或外护物所防护的带电部分的电源，在遮栏物或外护物恢复原位或重新关闭以后才能合闸通电；

——设有能防止触及带电部分的防护等级至少为IP××B或IP2×的中间遮拦，这一中间遮拦物只能使用钥匙或工具才能挪动。

A.2.5 如果在遮拦物后或外护物内有切断电源后仍残存有危险电荷的电气设备(如电容器等)，则在此电气设备前应设置一警示危险的标牌。为消除电火花或为延迟继电器动作等用的小容量电容器等，不应认为是具有这种危险的电气器件。

注：如果切断电源5s内电气设备上残存的静电电荷电压降至直流120V以下，则躯体与电气设备不经心的触及不致引发电击危险。

附录B(规范性附录)阻挡物和置于伸臂范围之外

B.1 应用条件

阻挡物和置于伸臂范围之外的保护措施只能提供基本保护。它们适用于由熟练的或受过培训的人员操作或管理，具有或不具有故障保护的电气装置。

当按附录B的基本保护的规定采取防直接接触措施时，其管理的资质条件见410.3.5条。

B.2 阻挡物

注：阻挡物用以防止躯体无意地触及带电部分，但不能防止故意绕过阻挡物有意地触及带电部分。

B.2.1 阻挡物应能防止：

——躯体无意地接近带电部分；

——正常工作中操作通电设备时，人体无意地接触带电部分。

B.2.2 阻挡物可不用钥匙或工具即可挪动，但应能防止它被无意地挪动。

B.3 置于伸臂范围之外

注：置于伸臂范围之外的保护措施，只能用于防止无意地触及带电部分。

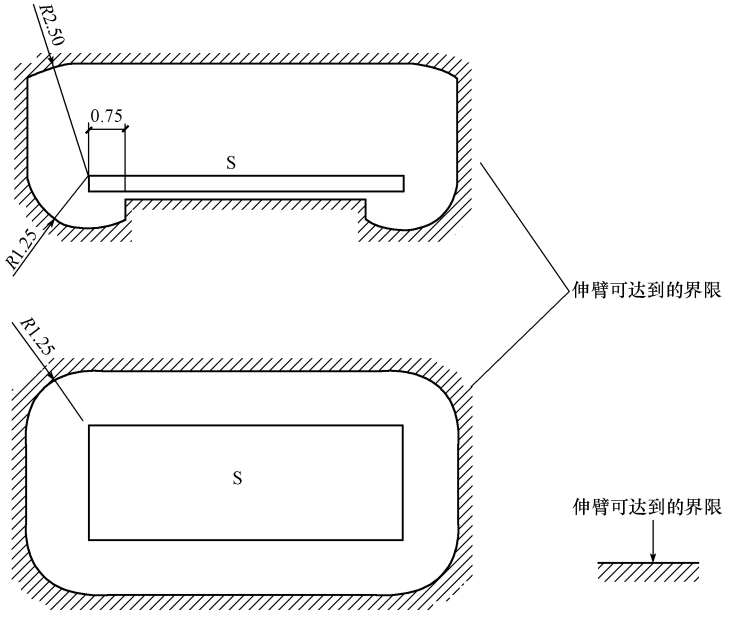
B.3.1 可同时触及的不同电位的部分不应在伸手可及的范围之内。

注：如果两个部分相距不大于2.5m，则可认为它们是可同时触及的(见图1-22)。

B.3.2 如果通常有人的位置在水平方向被一个低于IP××B或IP2×防护等级的阻挡物(如栏杆、网栅)所阻挡，伸臂范围应从阻挡物算起。在头的上方，伸臂范围应是从地面算起的2.5m，在这一2.5m的范围内，无论中间有无低于IP××B防护等级的阻挡物，这一2.5m的要求不变。

注：伸臂范围的距离是从不持握物件(如工具或梯子)的空手算起。

B.3.3 在人手通常持握大或长的物件的场所，应计及这些物件的尺寸，在此情况下B.3.1和B.3.2条所要求的距离应予以加大。



S—人体站立的位置

图 1-22 伸臂范围

附录 C(规范性附录)

适用于由熟练的或受过培训的人员操作或管理的电气装置的保护措施

注:当将附录 C 的故障保护(间接接触防护)的规定用作部分保护措施时,其管理人员的资质条件见 410.3.6 条。

C.1 非导电场所

注:当带电部分的基本绝缘失效时,此种保护措施用于防止躯体同时触及可能带不同电位的部分。

C.1.1 所有电气设备应符合附录 A 中关于基本保护规定中的一项规定。

C.1.2 外露可导电部分的布置应做到在正常环境下人体不会同时触及以下部分:

——两个外露可导电部分;或

——一个外露可导电部分和一个装置外可导电部分。

当带电部分的基本绝缘失效时,上述部分可能呈现不同电位。

C.1.3 在非导电场所内不应有保护导体。

C.1.4 如果非导电场所内有绝缘的地板和墙,且按照如下的一种或多种方式进行了处理:

a)拉开外露可导电部分和装置外可导电部分间以及不同外露可导电部分之间的距离。

如果两部分之间的距离不小于 2.5m 就满足要求;如在伸臂范围以外,这一距离可缩短到 1.25m。

b)在外露可导电部分和装置外可导电部分之间插入有效的阻挡物。

如果将越过它的距离加大到 a)条所述的距离,阻挡物即足够有效。阻挡物不应与地或外露可导电部分相连接,并应尽量用绝缘材料制作。

c)在装置外可导电部分上覆盖绝缘。

在装置外可导电部分上覆盖的绝缘应具有足够的机械强度,并应能承受至少 2000V 的

试验电压。正常使用情况下泄漏电流不应超过 1mA。

C.1.5 在《低压电气装置 第 6 部分:检验》(GB 16895.23—2012)规定的条件下,在绝缘地板和墙上任意一点测得的电阻不应小于下值:

——装置标称电压不超过 500V 时为 50kΩ;或

——标称电压超过 500V 时为 100kΩ。

注:如果任何一点的电阻小于上述规定值,对防电击而言,就认为地板和墙是装置外可导电部分。

C.1.6 对非导电场所规定的保护措施应是永久性的。不应存在使这些措施失效的可能性。即使在非导电场所内使用移动式或携带式设备时也应确保这等保护措施有效。

注 1:需注意出现一种危险:在不具备有效管理的电气装置内交付使用后引进一些可导电部分,从而使 C.1.6 条规定的保护措施失效(例如,引进了移动式或携带式的 I 类电气设备或金属水管之类的装置外可导电部分)。

注 2:应确保地板和墙的绝缘性能不受潮气的影响。

C.1.7 应确保装置外可导电部分不自场所外将电位引入非导电场所内。

C.2 不接地的局部等电位联结的保护

注:非接地的局部等电位联结的保护用于防止出现危险的接触电压。

C.2.1 所有电气设备都应符合附录 A 中基本保护(直接接触防护)的一项规定。

C.2.2 等电位联结导体应将所有可同时触及的外露可导电部分和装置外可导电部分互相连通。

C.2.3 局部等电位联结不应直接与地作电气连接,也不应经外露可导电或装置外可导电部分与地作电气连接。

注:当不能满足此要求时,可采用自动切断电源的保护措施(见 411 条)。

C.2.4 应采取措施保证进入等电位场所的人员不会接触到危险的电位差,特别是进入具有与局部等电位联结系统相连接且与地绝缘的导电地板的场所。

C.3 供电给多台用电设备时的电气分隔

注:对某一回路作电气分隔是为了防止接触因回路绝缘损坏而使带电的外露可导电部分产生电击电流。

C.3.1 所有的电气设备都应符合附录 A 中基本保护的一项规定。

C.3.2 当供电给多台设备时,电气分隔保护应符合除 413.1.2 条外的 413 条的全部要求,并应符合下面的要求:

C.3.3 应采取措施防止被分隔回路受损伤和绝缘失效。

C.3.4 被分隔回路的外露可导电部分应采用绝缘的不接地的等电位联结导体相连通。这些联结导体不得与其他回路的保护导体及外露可导电部分或装置外可导电部分相连接。

C.3.5 分隔回路内的插座应具有保护导体的接点,它应与 C.3.4 条所述的等电位联结系统相连接。

C.3.6 除给具有双重绝缘或加强绝缘的设备供电的情况外,所有软电缆内应含有一保护导体,它被用作 C.3.4 条所述的不接地的等电位联结导体。

C.3.7 如果两台电气设备的外露可导电部分上分别出现不同相(极)导体的绝缘故障,应确保由一过电流保护电器在表 41.1 规定的时间内切断电源。

C.3.8 以 V 计的被分隔回路的标称电压和以 m 计的回路长度的乘积不宜超过 100000V·m,且回路的总长度不宜超过 500m。

1.4 低压系统接地故障的保护设计和等电位联结的有关要求

1.4.1 接地故障保护

1.4.1.1 接地故障保护的一般规定

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

规范引用

5.2.1 对于未按现行国家标准《建筑物电气装置第 4-41 部分:安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)的规定采用下列间接接触防护措施者,应采用本节所规定的防护措施:

1. 采用Ⅱ类设备;

2. 采取电气分隔措施;

3. 采用特低电压供电;

4. 将电气设备安装在非导电场所内;

5. 设置不接地的等电位联结。

5.2.2 在使用Ⅰ类设备、预期接触电压限值为 50V 的场所,当回路或设备中发生带电导体与外露可导电部分或保护导体之间的故障时,间接接触防护电器应能在预期接触电压超过 50V 且持续时间足以引起对人体有害的病理生理效应前自动切断该回路或设备的电源。

5.2.3 电气装置的外露可导电部分,应与保护导体连接。

5.2.4 建筑物内的总等电位联结,应符合下列规定:

1. 每个建筑物中的下列可导电部分,应做总等电位联结:

1)总保护导体(保护导体、保护接地中性导体);

2)电气装置总接地导体或总接地端子排;

3)建筑物内的水管、燃气管、采暖和空调管道等各种金属干管;

4)可接用的建筑物金属结构部分。

2. 来自外部的本条第 1 款规定的可导电部分,应在建筑物内距离引入点最近的地方做总等电位联结。

3. 总等电位联结导体,应符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第 3.2.15 条~第 3.2.17 条的有关规定。

4. 通信电缆的金属外护层在做等电位联结时,应征得相关部门的同意。

5.2.5 当电气装置或电气装置某一部分发生接地故障后间接接触的保护电器不能满足自动切断电源的要求时,应在局部范围内将《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第 5.2.4 条第 1 款所列可导电部分再做一次局部等电位联结;亦可将伸臂范围内能同时触及的两个可导电部分之间做辅助等电位联结。局部等电位联结或辅助等电位联结的有效性,应符合下式的要求:

$$R \leqslant \frac{50}{I_a} \tag{1-2}$$

式中 R——可同时触及的外露可导电部分和装置外可导电部分之间，故障电流产生的电压降引起接触电压的一段线路的电阻(Ω)；

I_a——保证间接接触保护电器在规定时间内切断故障回路的动作电流(A)。

5.2.6 配电线路间接接触防护的上下级保护电器的动作特性之间应有选择性。

1.4.1.2 TN系统

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)





5.2.7 TN系统中电气装置的所有外露可导电部分，应通过保护导体与电源系统的接地点连接。

5.2.8 TN系统中配电线路的间接接触防护电器的动作特性，应符合下式的要求：

$$Z_s I_a \leqslant U_0 \tag{1-3}$$

式中 Z_s——接地故障回路的阻抗(Ω)；

I_a——相导体对地标称电压(V)。

5.2.9 TN系统中配电线路的间接接触防护电器切断故障回路的时间，应符合下列规定：

1)配电线路或仅供给固定式电气设备用电技术的末端线路，不宜大于5s；

2)供给手持式电气设备和移动式电气设备用电的末端线路或插座回路，TN系统的最长切断时间不应大于表1-39的规定。

表1-39 TN系统的最长切断时间

相导体对地标称电压/V	切断时间/s
220	0.4
380	0.2
>380	0.1

5.2.10 在TN系统中，当配电箱或配电回路同时直接或间接给固定式、手持式和移动式电气设备供电时，应采取下列措施之一：

1. 应使配电箱至总等电位联结点之间的一段保护导体的阻抗符合下式的要求：

$$Z_L \leqslant \frac{50}{U_0} Z_s \tag{1-4}$$

式中 Z_L——配电箱至总等电位联结点之间的一段保护导体的阻抗(Ω)。

2. 应将配电箱内保护导体母排与该局部范围内的装置外可导电部分做局部等电位联结或按《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第5.2.5条的有关要求做辅助等电位联结。

5.2.11 当TN系统相导体与无等电位联结作用的地之间发生接地故障时，为使保护导体和与之连接的外露可导电部分的对地电压不超过50V，其接地电阻的比值应符合下式的要求：

$$\frac{R_B}{R_E} \leqslant \frac{50}{U_0 - 50} \tag{1-5}$$

式中 R_B——所有与系统接地极并联的接地电阻(Ω)；

R_E——相导体与大地之间的接地电阻(Ω)。

5.2.12 当不符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)公式(1-5)的要求时，应补充

其他有效的间接接触防护措施,或采用局部 TT 系统。

5.2.13 TN 系统中,配电线路采用过电流保护电器兼作间接接地防护电器时,其动作特性应符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第 5.2.8 条的规定;当不符合规定时,应采用剩余电流动作保护电器。

1.4.1.3 TT 系统

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

规范引用

5.2.14 TT 系统中,配电线路内有同一间接接触防护电器保护的外露可导电部分,应用保护导体连接至共用或各自的接地极上。当有多级保护时,各级应有各自的或共同的接地极。

5.2.15 TT 系统配电线路间接接触防护电器的动作特性,应符合下式的要求:

$$R_A I_a \leqslant 50V \tag{1-6}$$

式中 R_A——外露可导电部分的接地电阻和保护导体电阻之和(Ω)

5.2.16 TT 系统中,间接接触防护的保护电器切断故障回路的动作电流,当采用熔断器时,应为保证熔断器在 5s 内切断故障回路的电流;当采用断路器时,应为保证断路器瞬时切断故障回路的电流;当采用剩余电流保护电器时,应为额定剩余动作电流。

5.2.17 TT 系统中,配电线路间接接触防护电器的动作特性不符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第 5.2.15 条的规定时,应按《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第 5.2.5 条的规定做局部等电位联结或辅助等电位联结。

5.2.18 TT 系统中,配电线路的间接接触防护的保护电器应采用剩余电流动作保护电器或过电流保护电器。

1.4.1.4 IT 系统

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

规范引用

5.2.19 在 IT 系统的配电线路中,当发生第一次接地故障时,应发出报警信号,且故障电流应符合下式的要求:

$$R_A I_d \leqslant 50V \tag{1-7}$$

式中 I_d——相导体和外露可导电部分间第一次接地故障的故障电流(A),此值应计及泄漏电流和电气装置全部接地阻抗值的影响。

5.2.20 IT 系统应设置绝缘监测器。当发生第一次接地故障或绝缘电阻低于规定的整定值时,应有绝缘监测器发出音响和灯光信号,且灯光信号应持续到故障消除。

5.2.21 IT 系统的外露可导电部分可采用共同的接地极接地,亦可个别或成组地采用单独的接地极接地,并应符合下列规定:

1. 当外露可导电部分为共同接地,发生第二次接地故障时,故障回路的切断应符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)规定的 TN 系统自动切断电源的要求;

2. 当外露可导电部分单独或成组地接地,发生第二次接地故障时,故障回路的切断应符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)的 TT 系统自动切断电源的要求。

5.2.22 IT 系统不宜配出中性导体。

5.2.23 在 IT 系统的配电线路中,当发生第二次接地故障时,故障回路的最长切断时

间不应大于表 1-40 的规定。

表 1-40 IT 系统第二次故障时最长切断时间

相对地标称电压/ 相间标称电压/V	切断时间/s	
	没有中性导体配出	有中性导体配出
220/380	0.4	0.8
380/660	0.2	0.4
580/1000	0.1	0.2

5.2.24 IT 系统的配电线路符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第 5.2.21 条第 1 款规定时,应有过电流保护电器或剩余电流保护器切断故障回路,并应符合下式的规定。

1. 当 IT 系统不配出中性导体时,保护电器动作特性应符合下式的要求:

$$Z_e I_e \leqslant \frac{\sqrt{3}}{2} U_0 \tag{1-8}$$

2. 当 IT 系统配出中性导体时,保护电器动作特性应符合下式的要求:

$$Z_d I_e \leqslant \frac{1}{2} U_0 \tag{1-9}$$

式中 Z_e——包括相导体和保护导体的故障回路的阻抗(Ω);

Z_d——包括相导体、中性导体和保护导体的故障回路的阻抗(Ω);

I_e——保证保护电器在表 1-40 规定的时间或其他回路允许的 5s 内切断故障回路的电流(A)。

1.4.2 漏电保护器

1.4.2.1 漏电保护器的应用

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》下

34.6.3.1 直接接触的防护

漏电保护器只作为直接接触防护中基本保护措施的附加保护。用于直接接触电击防护时,应选用高灵敏度、快速动作型的漏电保护器,动作电流不超过 30mA。

34.6.3.2 间接接触的防护

间接接触电击防护,主要是采用自动切断电源的保护方式,以防止电气设备发生接地故障时,其外露可导电部分持续带有危险电压而产生电击的危险。

在间接接触防护中,采用自动切断电源的漏电保护器时,应与电力系统的接地方式相一致。

TT 系统:当接地故障电流流过接地电阻形成电气设备外露可导电部分的电压大于 50V 时,应采用漏电电流保护,此时接地故障电流即为漏电保护器额定动作电流 $I_{\Delta n}$。

TN 系统:当相—零回路阻抗较大,过电流保护不能兼作接地故障保护以及零序保护也不能兼作接地故障保护时,应采用漏电电流保护。此时也可将漏电保护器保护的线路和设备按局部 TT 系统处理,即将此部分线路及设备的外露可导电部分接至专用的接地极上,并符合上述 TT 系统的要求。

IT 系统:IT 系统中采用漏电保护器切断第一二次接地故障时,保护器额定不动作电流 $I_{\Delta n}$ 应大于第一次接地故障时的相线内流过的接地故障电流。

34.6.3.3 电气火灾的防护

为防止电气设备与线路因绝缘损坏引起电气火灾,宜装设当漏电电流超过预定值时,能发出声、光信号报警或自动切断电源的漏电保护器。为防止电气火灾而安装的漏电保护器、漏电继电器等报警装置,与末级保护之间宜形成分级保护。

34.6.3.4 分级保护

为了缩小接地故障切断电源而引起的停电范围,漏电保护器的保护一般分为两级(在多级配电系统中,可以是最后的两级),两级保护用的漏电保护器的额定剩余动作电流和动作时间应互相协调,以达到选择性切断的目的。一般来说,装在上一级的漏电保护器应采用低灵敏度延时型的漏电保护器。

34.6.3.5 必须安装漏电保护器的设备和场所有:

(1)属于Ⅰ类绝缘等级的移动式电气设备和手提式电动工具(电气产品按防电击保护的绝缘等级可分为 0、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ四类。Ⅰ类为产品的防电击保护不仅依靠设备的基本绝缘,而且还包含一个附加的安全预防措施,其方法是将可能触及的可导电的零件与已安装的固定线路中的保护线连接起来,以这样的方法使可触及的可导电的零件在基本绝缘损坏的事故中不成为带电体);

(2)安装在潮湿、强腐蚀性等环境恶劣场所的电气设备;

(3)建筑施工工地的施工机械的电气设备;

(4)暂时设置的临时用电的电气设备;

(5)宾馆、饭店、招待所的客房内插座回路;

(6)机关、学校、企业、住宅等建筑物内的插座回路;

(7)游泳池、喷水池、浴池等的水中照明设备;

(8)安装在水中的供电线路及设备;

(9)医院中直接接触人体的医用设备的电气设备;

(10)其他必须安装漏电保护器的设备和场所。

34.6.3.6 报警式漏电保护器的应用

对于某些一级负荷的设备,停电会造成重大的经济损失甚至人身事故,应装设报警式漏电保护器。

需要装设报警式漏电保护器的设备和场所有:

(1)公共场所的通道照明(装有应急照明装置的除外);

(2)消防用电梯及确保公共场所安全的设备;

(3)用于消防设备的电源,如火警报警装置、消防水泵、消防通道照明等;

(4)用于防盗报警的电源;

(5)其他不允许停电的特殊设备和场所。

34.6.3.7 可不装设漏电保护器的设备

可不装设漏电保护器的设备有:

(1)使用安全电压供电的电气设备;

(2)一般环境条件下使用的具有双重绝缘或加强绝缘的电气设备;

(3)使用隔离变压器供电的电气设备;

(4)在采用不接地的局部等电位联结安全措施的场所中使用的电气设备;

(5)在没有间接接触电击危险场所的电气设备。

1.4.2.2 漏电保护器的选择

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》下



34.6.4 漏电保护器的选择

漏电保护器是关系人的安全的电气设备,必须选用符合国家标准规定,具有国家认证标志的优质产品。

其次,漏电保护器的型式和参数必须选择合理。应按下述各个方面进行选择。

(1)根据电气设备的供电方式选用漏电保护器。单相220V电源供电的电气设备应选用二极二线式或单极二线式漏电保护器;三相三线式380V电源供电的电气设备,应选用三极式漏电保护器;三相四线式380/220V电源供电的电气设备,或单相设备与三相设备共用的电路,应选用三极四线式、四极四线式漏电保护器。

(2)根据电气线路的正常泄漏电流,选择漏电保护器的额定剩余(漏电)动作电流。选择漏电保护器的额定剩余动作电流值时,应充分考虑到被保护线路和设备可能发生的正常泄漏电流值,必要时可通过实际测量取得被保护线路或设备的泄漏电流值;选用的漏电保护器的额定漏电不动作电流,应不小于电气线路和设备的正常泄漏电流的最大值的2倍。

(3)根据电气设备的环境要求选用漏电保护器。漏电保护器的防护等级应与使用环境条件相适应;对电源电压偏差较大的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器;在高温或特低温环境中的电气设备应优先选用电磁式漏电保护器;雷电活动频繁地区的电气设备应选用冲击电压不动作型漏电保护器;安装在易燃、易爆、潮湿或有腐蚀性气体等环境恶劣场所中的漏电保护器,应选用特殊防护的漏电保护器或采取防护措施。

(4)漏电保护器动作参数的选择。手提式电动工具、移动电器、家用电器插座回路的设备应优先选用额定漏电动作电流不大于30mA快速动作的漏电保护器;单台电机设备可选用额定漏电动作电流为30mA及以上,100mA以下快速动作的漏电保护器;有多台设备的总保护应选用额定漏电动作电流为100mA及以上快速动作的漏电保护器。

(5)特殊负荷或场合下选择漏电保护器。医疗电气设备应选用额定漏电动作电流为10mA的快速动作的漏电保护器;安装在潮湿场所的电气设备应选用额定漏电动作电流为15～30mA的快速动作的漏电保护器;安装于游泳池、喷水池、水上游乐场、浴室的照明线路,应选用额定漏电动作电流为10mA快速动作的漏电保护器;在金属物体上工作,操作手提式电动工具成行灯时,应选用额定漏电动作电流为10mA快速动作的漏电保护器;连接室外架空线路的电气设备应选用冲击电压不动作型漏电保护器;带有架空线路的总保护应选择中、低灵敏度及延时动作的漏电保护器。

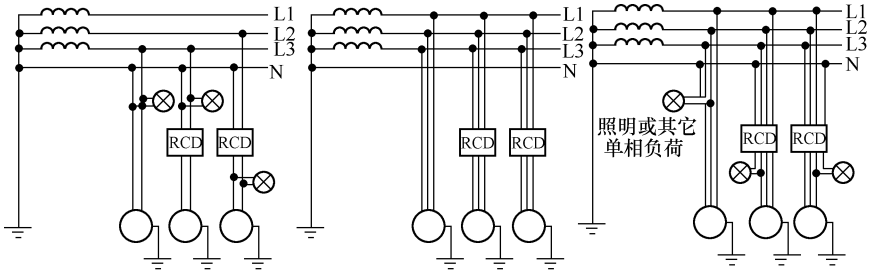
1.4.2.3 漏电保护器的接线

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》下



34.6.5 漏电保护器的接线

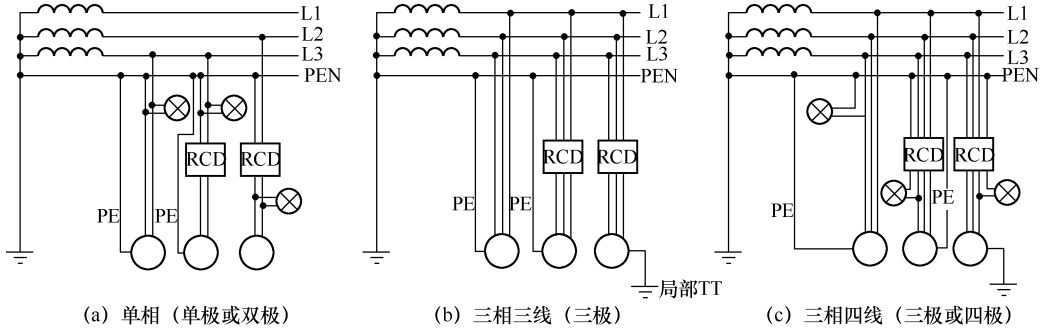
正确选择了漏电保护器后,还需接线正确,漏电保护器才能起到应有的作用。漏电保护器在各类低压系统中的正确接线见图1-23～图1-26。



(a) 单相（单极或双极） (b) 三相三线（三极） (c) 三相四线（三极或四极）

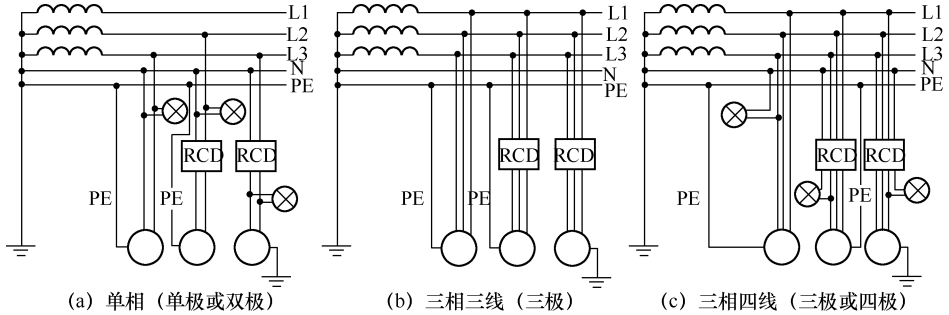
RCD—漏电保护器；⊗—照明或其他单相负荷

图 1-23 漏电保护器在 TT 系统中的接线



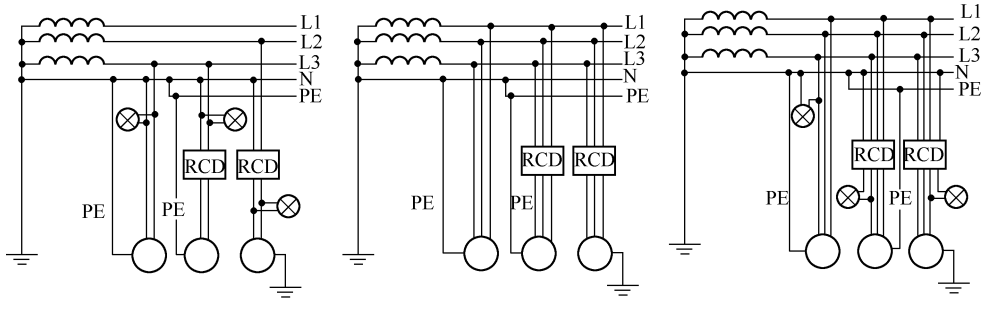
(a) 单相（单极或双极） (b) 三相三线（三极） (c) 三相四线（三极或四极）

图 1-24 漏电保护器在 TN-C 系统中的接线



(a) 单相（单极或双极） (b) 三相三线（三极） (c) 三相四线（三极或四极）

图 1-25 漏电保护器在 TN-S 系统中的接线



(a) 单相（单极或双极） (b) 三相三线（三极） (c) 三相四线（三极或四极）

图 1-26 漏电保护器在 TN-C-S 系统中的接线

关于接线的几点说明：

(1)漏电保护器一侧的中性线，不得与其他回路共用，也不得重复接地或接至电气设备的外壳。

(2)保护线(即 PE 线)任何情况下也不应穿过漏电保护器中电流互感器的磁回路。

(3)当电气设备装有高灵敏度的漏电保护器时，电气设备单独接地装置的接地电阻最大可放宽到 500Ω，但预期接触电压必须限制在允许的范围内。

(4)漏电保护器所保护的线路及电气设备。其泄漏电流必须控制在允许范围内，当泄漏电流大于允许值时，必须更换绝缘良好的供电线路，漏电保护器保护的电动机及其他电气设备在正常运行时，绝缘电阻值不应小于 0.5Ω。

(5)当漏电保护器上标有负载侧和电源侧时，应按规定接线，不得接反。

(6)安装漏电保护器后，不能去除电气设备的接地。

(7)安装漏电保护器之后，不是万无一失，仍应注意用电安全。

在下列情况下，即使装有漏电保护器，仍可能发生人员伤亡：

1)人同时触及相线及零线。

2)人站在高处，同时触及相线及墙，此时流经人体电流可能小于漏电动作电流，但可能使人痉挛，造成二次伤害。

3)在 TN 系统中，如 PE 线中断，在中断状态下电气设备绝缘损坏，此时如选用防直流电击的漏电保护器，则漏电保护器不动作，PE 线带电，有可能造成人身伤害。

4)在 TN 系统中，采用漏电保护器与未采用漏电保护器的设备如共用 PE 线(不应共用)，则当未采用漏电保护器的电气设备绝缘损坏而外壳带电时，漏电保护器保护的设备外壳也带电，有可能造成人身伤害。

1.4.3 等电位联结

1.4.3.1 等电位联结的作用

《工业与民用配电设计手册》第三版

规范引用

建筑物的低压电气装置应采用等电位联结，以降低建筑物内间接接触电压和不同金属物体间的电位差；避免自建筑物外经电气线路和金属管道引入的故障电压的危害；减小保护电器动作不可靠带来的危险和有利于避免外界电磁场引起的干扰、改善装置的电磁兼容性。

1.4.3.2 等电位联结的分类

《工业与民用配电设计手册》第三版

规范引用

二、等电位联结的分类

1.总等电位联结

总等电位联结是将建筑物电气装置外露导电部分与装置外导电部分电位基本相等的连接。通过进线配电箱近旁的总等电位联结端子板(接地母排)将下列导电部分互相连通：

(1)进线配电箱的 PE(PFN)母排；

(2)金属管道如给排水、热力、煤气等干管；

(3)建筑物金属结构；

(4)建筑物接地装置。

建筑物每一电源进线都应做总等电位联结,各个总等电位联结端子板间应互相连通。

2.辅助等电位联结

将导电部分间用导体直接连通,使其电位相等或接近,称为辅助等电位联结。

3.局部等电位联结

在一局部场所范围内将各可导电部分连通,称为局部等电位联结。可通过局部等电位联结端子板将 PE 母线(或干线)、金属管道、建筑物金属体等相互连通。

下列情况需做局部等电位联结:

(1)当电源网络阻抗过大,使自动切断电源时间过长,不能满足防电击要求时;

(2)由 TN 系统同一配电箱供电给固定式和手持式、移动式两种电气设备,而固定式设备保护电器切断电源时间不能满足手持式、移动式设备防电击要求时;

(3)为满足浴室、游泳池、医院手术室等场所对防电击的特殊要求时;

(4)为避免爆炸危险场所因电位差产生电火花时;

等电位联结示意图见图 1-27。

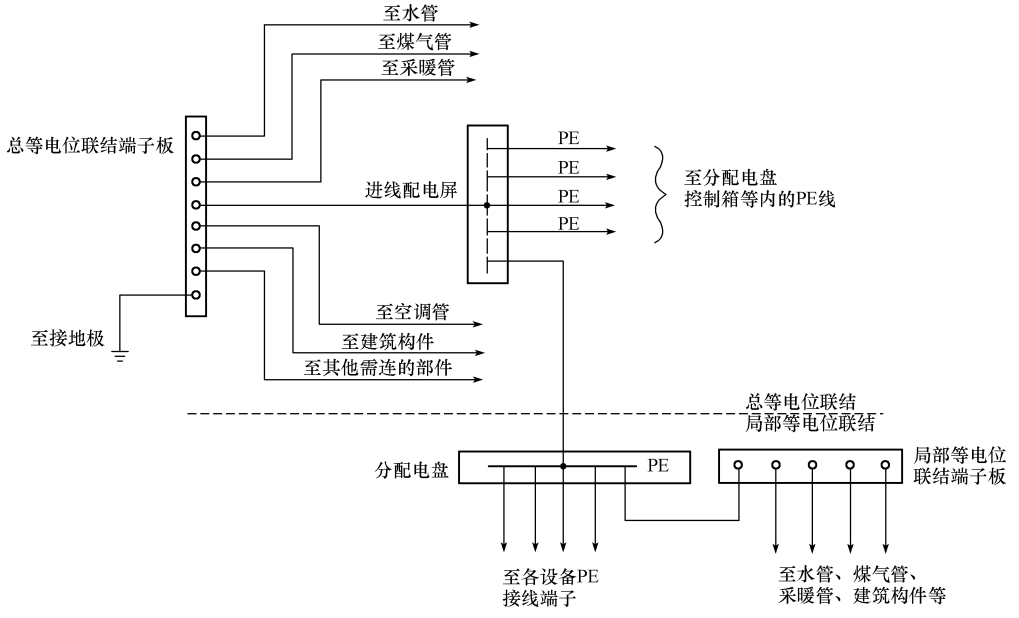


图 1-27 等电位联结示意图

4.等电位联结与接地的关系

接地可视为以大地作为参考电位的等电位联结,为防电击而设的等电位联结一般均做接地,与地电位相一致,有利于人身安全。

1.4.3.3 等电位联结线的截面

三、等电位联结线的截面

等电位联结线的截面见表 1-41。

表 1-41 等电位联结线的截面

类别 / 取值	总等电位联结线	局部等电位联结线		辅助等电位联结线	
一般值	不小于0.5×PE（PEN）线截面	不小于0.5×PE线截面①		两电气设备外露导电部分间	较小PE线截面
				电气设备与装置外可导电部分间	0.5×PE线截面
最小值	6mm² 铜线	有机械保护时	2.5mm² 铜线或4mm²铝线	有机械保护时	2.5mm² 铜线或4mm² 铝线
		无机械保护时	4mm² 铜线	无机械保护时	4mm² 铜线
	16mm² 铝线②	16mm² 钢线			
	50mm² 钢线				
最大值	25mm² 铜线或相同电导值导线②			—	

注：①局部场所内最大PE线截面。

②不允许采用无机械保护的铝线。采用铝线时，应保证铝线连接处的持续导通性。

1.5 危险环境电力装置的特殊设计要求

1.5.1 爆炸性气体环境的设计要求

1.5.1.1 一般规定

《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

规范引用

3.1.1 在生产、加工、处理、转运或贮存过程中出现或可能出现下列爆炸性气体混合物环境之一时，应进行爆炸性气体环境的电力装置设计：

1. 在大气条件下，可燃气体与空气混合形成爆炸性气体混合物；

2. 闪点低于或等于环境温度的可燃液体的蒸气或薄雾与空气混合形成爆炸性气体混合物；

3. 在物料操作温度高于可燃液体闪点的情况下，当可燃液体有可能泄漏时，可燃液体的蒸气或薄雾与空气混合形成爆炸性气体混合物。

3.1.2 在爆炸性气体环境中发生爆炸应符合下列条件：

1. 存在可燃气体、可燃液体的蒸气或薄雾，浓度在爆炸极限以内；

2. 存在足以点燃爆炸性气体混合物的火花、电弧或高温。

3.1.3 在爆炸性气体环境中应采取下列防止爆炸的措施：

1. 产生爆炸的条件同时出现的可能性应减到最小程度。

2. 工艺设计中应采取下列消除或减少可燃物质的释放及积聚的措施：

1)工艺流程中宜采取较低的压力和温度，将可燃物质限制在密闭容器内；

2)工艺布置应限制和缩小爆炸危险区域的范围,并宜将不同等级的爆炸危险区或爆炸危险区与非爆炸危险区分隔在各自的厂房或界区内;

3)在设备内可采用以氮气或其他惰性气体覆盖的措施;

4)宜采取安全联锁或发生事故时加入聚合反应阻聚剂等化学药品的措施。

3. 防止爆炸性气体混合物的形成或缩短爆炸性气体混合物的滞留时间可采取下列措施:

1)工艺装置宜采取露天或敞开式布置;

2)设置机械通风装置;

3)在爆炸危险环境内设置正压室;

4)对区域内易形成和积聚爆炸性气体混合物的地点应设置自动测量仪器装置,当气体或蒸气浓度接近爆炸下限值的50%时,应能可靠地发出信号或切断电源。

4. 在区域内应采取消除或控制设备线路产生火花、电弧或高温的措施。

1.5.1.2 爆炸性气体环境危险区域划分

《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

3.2.1 爆炸性气体环境应根据爆炸性气体混合物出现的频繁程度和持续时间分为0区、1区、2区,分区应符合下列规定。

1.0区应为连续出现或长期出现爆炸性气体混合物的环境;

2.1区应为在正常运行时可能出现爆炸性气体混合物的环境;

3.2区应为在正常运行时不太可能出现爆炸性气体混合物的环境,或即使出现也仅是短时存在的爆炸性气体混合物的环境。

3.2.2 符合下列条件之一时,可划为非爆炸危险区域:

1. 没有释放源且不可能有可燃物质侵入的区域;

2. 可燃物质可能出现的最高浓度不超过爆炸下限值的10%;

3. 在生产过程中使用明火的设备附近,或炽热部件的表面温度超过区域内可燃物质引燃温度的设备附近;

4. 在生产装置区外,露天或敞开设置的输送可燃物质的架空管道地带,但其阀门处按具体情况确定。

3.2.3 释放源应按可燃物质的释放频繁程度和持续时间长短分为连续级释放源、一级释放源、二级释放源,释放源分级应符合下列规定:

1. 连续级释放源应为连续释放或预计长期释放的释放源。下列情况可划为连续级释放源:

1)没有用惰性气体覆盖的固定顶盖贮罐中的可燃液体的表面;

2)油、水分离器等直接与空间接触的可燃液体的表面;

3)经常或长期向空间释放可燃气体或可燃液体的蒸气的排气孔和其他孔口。

2. 一级释放源应为在正常运行时,预计可能周期性或偶尔释放的释放源。下列情况可划为一级释放源:

1)在正常运行时,会释放可燃物质的泵、压缩机和阀门等的密封处;

2)贮有可燃液体的容器上的排水口处,在正常运行中,当水排掉时,该处可能会向空间

释放可燃物质；

3)正常运行时，会向空间释放可燃物质的取样点；

4)正常运行时，会向空间释放可燃物质的泄压阀、排气口和其他孔口。

3. 二级释放源应为在正常运行时，预计不可能释放，当出现释放时，仅是偶尔和短期释放的释放源。下列情况可划为二级释放源：

1)正常运行时，不能出现释放可燃物质的泵、压缩机和阀门的密封处；

2)正常运行时，不能释放可燃物质的法兰、连接件和管道接头；

3)正常运行时，不能向空间释放可燃物质的安全阀、排气孔和其他孔口处；

4)正常运行时，不能向空间释放可燃物质的取样点。

3.2.4 当爆炸危险区域内通风的空气流量能使可燃物质很快稀释到爆炸下限值的25%以下时，可定为通风良好，并应符合下列规定。

1. 下列场所可定为通风良好场所：

1)露天场所；

2)敞开式建筑物，在建筑物的壁、屋顶开口，其尺寸和位置保证建筑物内部通风效果等效于露天场所；

3)非敞开建筑物，建有永久性的开口，使其具有自然通风的条件；

4)对于封闭区域，每平方米地板面积每分钟至少提供 0.3m^2 的空气或至少 1h 换气 6 次。

2. 当采用机械通风时，下列情况可不计机械通风故障的影响：

1)封闭式或半封闭式的建筑物设置备用的独立通风系统；

2)当通风设备发生故障时，设置自动报警或停止工艺流程等确保能阻止可燃物质释放的预防措施，或使设备断电的预防措施。

3.2.5 爆炸危险区域的划分应按释放源级别和通风条件确定，存在连续级释放源的区域可划为 0 区，存在一级释放源的区域可划为 1 区，存在二级释放源的区域可划为 2 区，并应根据通风条件按下列规定调整区域划分：

1. 当通风良好时，可降低爆炸危险区域等级；当通风不良时，应提高爆炸危险区域等级。

2. 局部机械通风在降低爆炸性气体混合物浓度方面比自然通风和一般机械通风更为有效时，可采用局部机械通风降低爆炸危险区域等级。

3. 在障碍物、凹坑和死角处，应局部提高爆炸危险区域等级。

4. 利用堤或墙等障碍物，限制比空气重的爆炸性气体混合物的扩散，可缩小爆炸危险区域的范围。

3.2.6 使用于特殊环境中的设备和系统可不按照爆炸危险性环境考虑，但应符合下列相应的条件之一：

1. 采取措施确保不形成爆炸危险性环境。

2. 确保设备在出现爆炸性危险环境时断电，此时应防止热元件引起点燃。

3. 采取措施确保人和环境不受试验燃烧或爆炸带来的危害。

4. 应由具备下述条件的人员书面写出所采取的措施：

1)熟悉所采取措施的要求和国家现行有关标准以及危险环境用电气设备和系统的使用要求；

2)熟悉进行评估所需的资料。

1.5.1.3 爆炸性气体环境危险区域范围

《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

规范引用

3.3.1 爆炸性气体环境危险区域范围应按下列要求确定：

1. 爆炸危险区域的范围应根据释放源的级别和位置、可燃物质的性质、通风条件、障碍物及生产条件、运行经验，经技术经济比较综合确定。

2. 建筑物内部宜以厂房为单位划定爆炸危险区域的范围。当厂房内空间大时，应根据生产的具体情况划分，释放源释放的可燃物质量少时，可将厂房内部按空间划定爆炸危险的区域范围，并应符合下列规定：

1)当厂房内具有比空气重的可燃物质时，厂房内通风换气次数不应少于每小时两次，且换气不受阻碍，厂房地面上高度 1m 以内容积的空气与释放至厂房内的可燃物质所形成的爆炸性气体混合浓度应小于爆炸下限；

2)当厂房内具有比空气轻的可燃物质时，厂房平屋顶平面以下 1m 高度内，或圆顶、斜顶的最高点以下 2m 高度内的容积的空气与释放至厂房内的可燃物质所形成的爆炸性气体混合物的浓度应小于爆炸下限；

3)释放至厂房内的可燃物质的最大量应按一小时释放量的三倍计算，但不包括由于灾难性事故引起破裂时的释放量。

3. 当高挥发性液体可能大量释放并扩散到 15m 以外时，爆炸危险区域的范围应划分为附加 2 区。

4. 当可燃液体闪点高于或等于 60℃时，在物料操作温度高于可燃液体闪点的情况下，可燃液体可能泄漏时，其爆炸危险区域的范围宜适当缩小，但不宜小于 4.5m。

3.3.2 爆炸危险区域的等级和范围可按《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)附录 A 的规定，并根据可燃物质的释放量、释放速率、沸点、温度、闪点、相对密度、爆炸下限、障碍等条件，结合实践经验确定。

3.3.3 爆炸性气体环境内的车间采用正压或连续通风稀释措施后，不能形成爆炸性气体环境时车间可降为非爆炸危险环境。通风引入的气源应安全可靠，且无可燃物质、腐蚀介质及机械杂质，进气口应设在高出所划爆炸性危险区域范围的 1.5m 以上处。

3.3.4 爆炸性气体环境电力装置设计应有爆炸危险区域划分图，对于简单或小型厂房，可采用文字说明表达。

爆炸性气体环境危险区域范围典型示例图应符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)附录 B 的规定。

1.5.1.4 爆炸性气体混合物的分级、分组

《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

规范引用

3.4.1 爆炸性气体混合物应按其最大试验安全间隙(MESG)或最小点燃电流比(MICR)分级。爆炸性气体混合物分级应符合表 1-42 的规定。

表 1-42 爆炸性气体混合物分级

级别	最大试验安全间隙(MESG)/mm	最小点燃电流比(MICR)
ⅡA	≥0.9	>0.8
ⅡB	0.5<MESG<0.9	0.45<MICR<0.8
ⅡC	≤0.5	<0.45

注:①分级的级别应符合现行国家标准《爆炸性环境 第12部分:气体或蒸气混合物按照其最大试验安全间隙和最小点燃电流的分级》(GB 3836.12—2008)的有关规定。

②最小点燃电流比(MICR)为各种可燃物质的最小点燃电流值与实验室甲烷的最小点燃电流值之比。

3.4.2 爆炸性气体混合物应按引燃温度分组,引燃温度分组应符合表1-43的规定。

表 1-43 引燃温度分组

组别	引燃温度 t/℃	组别	引燃温度 t/℃
T1	$450<t$	T4	$135<t\leqslant200$
T2	$300<t\leqslant450$	T5	$100<t\leqslant135$
T3	$200<t\leqslant300$	T6	$85<t\leqslant100$

注:可燃性气体或蒸气爆炸性混合物分级、分组可按《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)附录C采用。

1.5.2 爆炸性粉尘环境

1.5.2.1 一般规定

规范引用 《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

4.1.1 当在生产、加工、处理、转运或贮存过程中出现或可能出现可燃性粉尘与空气形成的爆炸性粉尘混合物环境时,应进行爆炸性粉尘环境的电力装置设计。

4.1.2 在爆炸性粉尘环境中粉尘可分为下列三级:

1. ⅢA级为可燃性飞絮;

2. ⅢB级为非导电性粉尘;

3. ⅢC级为导电性粉尘。

4.1.3 在爆炸性粉尘环境中,产生爆炸应符合下列条件:

1. 存在爆炸性粉尘混合物,其浓度在爆炸极限以内;

2. 存在足以点燃爆炸性粉尘混合物的火花、电弧、高温、静电放电或能量辐射。

4.1.4 在爆炸性粉尘环境中应采取下列防止爆炸的措施:

1. 防止产生爆炸的基本措施,应是使产生爆炸的条件同时出现的可能性减小到最小程度。

2. 防止爆炸危险,应按照爆炸性粉尘混合物的特征采取相应的措施。

3. 在工程设计中应先采取下列消除或减少爆炸性粉尘混合物产生和积聚的措施:

1)工艺设备宜将危险物料密封在防止粉尘泄漏的容器内。

2)宜采用露天或开敞式布置,或采用机械除尘措施。

3)宜限制和缩小爆炸危险区域的范围,并将可能释放爆炸性粉尘的设备单独集中布置。

4)提高自动化水平,可采用必要的安全联锁。

4.1.5 爆炸危险区域应设有两个以上出入口,其中至少有一个通向非爆炸危险区域,出入口的门应向爆炸危险性较小的区域侧开启。

4.1.6 应对沉积的粉尘进行有效的清除。

4.1.7 应限制产生危险温度及火花,特别是由电气设备或线路产生的过热及火花。应防止粉尘进入产生电火花或高温部件的外壳内。应选用粉尘防爆类型的电气设备及线路。

4.1.8 可适当增加物料的湿度,降低空气中粉尘的悬浮量。

1.5.2.2 爆炸性粉尘环境危险区域划分

规范引用 《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)



4.2.1 粉尘释放源应按爆炸性粉尘释放频繁程度和持续时间长短分为连续级释放源、一级释放源、二级释放源,释放源应符合下列规定:

1. 连续级释放源应为粉尘云持续存在或预计长期或短期经常出现的部位。

2. 一级释放源应为在正常运行时预计可能周期性的或偶尔释放的释放源。

3. 二级释放源应为在正常运行时,预计不可能释放,如果释放也仅是不经常地并且是短期地释放。

4. 下列三项不应被视为释放源:

1)压力容器外壳主体结构及其封闭的管口和入孔;

2)全部焊接的输送管和溜槽;

3)在设计和结构方面对防粉尘泄漏进行了适当考虑的阀门压盖和法兰接合面。

4.2.2 爆炸危险区域应根据爆炸性粉尘环境出现的频繁程度和持续时间分为 20 区、21 区、22 区,分区应符合下列规定:

1.20 区应为空气中的可燃性粉尘云持续地或长期地或频繁地出现于爆炸性环境中的区域;

2.21 区应为在正常运行时,空气中的可燃性粉尘云很可能偶尔出现于爆炸性环境中的区域;

3.22 区应为在正常运行时,空气中的可燃粉尘云一般不可能出现于爆炸性粉尘环境中的区域,即使出现,持续时间也是短暂的。

4.2.3 爆炸危险区域的划分应按爆炸性粉尘的量、爆炸极限和通风条件确定。

4.2.4 符合下列条件之一时,可划为非爆炸危险区域:

1. 装有良好除尘效果的除尘装置,当该除尘装置停车时,工艺机组能联锁停车;

2. 设有为爆炸性粉尘环境服务,并用墙隔绝的送风机室,其通向爆炸性粉尘环境的风道设有能防止爆炸性粉尘混合物侵入的安全装置;

3. 区域内使用爆炸性粉尘的量不大,且在排风柜内或风罩下进行操作。

4.4.5 为爆炸性粉尘环境服务的排风机室,应与被排风区域的爆炸危险区域等级相同。

1.5.2.3 爆炸性粉尘环境危险区域范围

《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

规范引用

4.3.1 一般情况下,区域的范围应通过评价涉及该环境的释放源的级别引起爆炸性粉尘环境的可能来规定。

4.3.2 20区范围主要包括粉尘云连续生成的管道、生产和处理设备的内部区域。当粉尘容器外部持续存在爆炸性粉尘环境时,可划分为20区。

4.3.3 21区的范围应与一级释放源相关联,并应按下列规定确定:

1. 含有一级释放源的粉尘处理设备的内部可划分为21区。

2. 由一级释放源形成的设备外部场所,其区域的范围应受到粉尘量、释放速率、颗粒大小和物料湿度等粉尘参数的限制,并应考虑引起释放的条件。对于受气候影响的建筑物外部场所可减小21区范围。21区的范围应按照释放源周围1m的距离确定。

3. 当粉尘的扩散受到实体结构的限制时,实体结构的表面可作为该区域的边界。

4. 一个位于内部不受实体结构限制的21区应被一个22区包围。

5. 可结合同类企业相似厂房的实践经验和实际因素将整个厂房划为21区。

4.3.4 22区的范围应按下列规定确定:

1. 由二级释放源形成的场所,其区域的范围应受到粉尘量、释放速率、颗粒大小和物料湿度等粉尘参数的限制,并应考虑引起释放的条件。对于受气候影响的建筑物外部场所可减小22区范围。22区的范围应按超出21区3m及二级释放源周围3m的距离确定。

2. 当粉尘的扩散受到实体结构的限制时,实体结构的表面可作为该区域的边界。

3. 可结合同类企业相似厂房的实践经验和实际的因素将整个厂房划为22区。

4.3.5 爆炸性粉尘环境危险区域范围典型示例图应符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)附录D的规定。

4.3.6 可燃性粉尘举例应符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)附录E的规定。

1.5.3 爆炸性环境的电力装置设计

1.5.3.1 一般规定

《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

规范引用

5.1.1 爆炸性环境的电力装置设计应符合下列规定:

1. 爆炸性环境的电力装置设计宜将设备和线路,特别是正常运行时能发生火花的设备布置在爆炸性环境以外。当需设在爆炸性环境内时,应布置在爆炸危险性较小的地点。

2. 在满足工艺生产及安全的前提下,应减少防爆电气设备的数量。

3. 爆炸性环境内的电气设备和线路应符合周围环境内化学、机械、热、霉菌以及风沙等不同环境条件对电气设备的要求。

4. 在爆炸性粉尘环境内,不宜采用携带式电气设备。

5. 爆炸性粉尘环境内的事故排风用电动机应在生产发生事故的情况下,在便于操作的地方设置事故启动按钮等控制设备。

6. 在爆炸性粉尘环境内,应尽量减少插座和局部照明灯具的数量。如需采用时,插座宜布置在爆炸性粉尘不易积聚的地点,局部照明灯宜布置在事故时气流不易冲击的位置。

粉尘环境中安装的插座开口的一面应朝下,且与垂直面的角度不应大于60°。

7. 爆炸性环境内设置的防爆电气设备应符合现行国家标准《爆炸性环境 第1部分:设备通用要求》(GB 3836.1—2010)的有关规定。

1.5.3.2 爆炸性环境电气设备的选择

《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)

5.2.1 在爆炸性环境内,电气设备应根据下列因素进行选择:

1. 爆炸危险区域的分区;
2. 可燃性物质和可燃性粉尘的分级;
3. 可燃性物质的引燃温度;
4. 可燃性粉尘云、可燃性粉尘层的最低引燃温度。

5.2.2 危险区域划分与电气设备保护级别的关系应符合下列规定:

1. 爆炸性环境内电气设备保护级别的选择应符合表1-44的规定。

表1-44 爆炸性环境内电气设备保护级别的选择

危险区域	设备保护级别(EPL)
0区	Ga
1区	Ga或Gb
2区	Ga、Gb、Gc
20区	Da
21区	Da或Db
22区	Da、Db、Dc

2. 电气设备保护级别(EPL)与电气设备防爆结构的关系应符合表1-45的规定。

表1-45 电气设备保护级别(EPL)与电气设备防爆结构的关系

设备保护级别(EPL)	电气设备防爆结构	防爆形式
Ga	本质安全型	“ia”
	浇封型	“ma”
	由两种独立的防爆类型组成的设备,每一种类型达到保护级别“Gb”的要求	—
	光辐射式设备和传输系统的保护	“op is”
Gb	隔爆型	“d”
	增安型	“e”①
	本质安全型	“ib”
	浇封型	“mb”
Gb	油浸型	“o”
	正压型	“px”、“py”

续表

设备保护级别（EPL）	电气设备防爆结构	防爆形式
Gb	充砂型	“q”
	本质安全现场总线概念（FISCO）	—
	光辐射式设备和传输系统的保护	“op pr”
Gc	本质安全型	“ic”
	浇封型	“mc”
	无火花	“n”、“nA”
	限制呼吸	“nR”
	限能	“nL”
	火花保护	“nC”
	正压型	“pz”
	非可燃现场总线概念（FNICO）	—
	光辐射式设备和传输系统的保护	“op sh”
Da	本质安全型	“iD”
	浇封型	“mD”
	外壳保护型	“tD”
Db	本质安全型	“iD”
	浇封型	“mD”
	外壳保护型	“tD”
	正压型	“pD”
Dc	本质安全型	“iD”
	浇封型	“mD”
	外壳保护型	“tD”
	正压型	“pD”

注：①在1区中使用的增安型“e”电气设备仅限于下列电气设备：在正常运行中不产中火花、电弧或危险温度的接线盒和接线箱，包括主体为“d”或“m”型，接线部分为“e”型的电气产品；按现行国家标准《爆炸性环境 第3部分：由增安型“e”保护的设备》（GB 3836.3—2010）附录D配置的合适热保护装置的“e”型低压异步电动机，启动频繁和环境条件恶劣者除外；“e”型荧光灯；“e”型测量仪表和仪表用电流互感器。

5.2.3 防爆电气设备的级别和组别不应低于该爆炸性气体环境内爆炸性气体混合物的级别和组别，并应符合下列规定：

1. 气体、蒸气或粉尘分级与电气设备类别的关系应符合表1-46的规定。当存在有两种以上可燃性物质形成的爆炸性混合物时，应按照混合后的爆炸性混合物的级别和组别选用防爆设备，无据可查又不可能进行试验时，可按危险程度较高的级别和组别选用防爆电气设备。

对于标有适用于特定的气体、蒸气的环境的防爆设备，没有经过鉴定，不得使用于其他的气体环境内。

表 1-46 气体、蒸气或粉尘分级与电气设备类别的关系

气体、蒸气或粉尘分级	设备类别
ⅡA	ⅡA、ⅡB或ⅡC
ⅡB	ⅡB或ⅡC
ⅡC	ⅡC
ⅢA	ⅢA、ⅢB或ⅢC
ⅢB	ⅢB或ⅢC
ⅢC	ⅢC

2. Ⅱ类电气设备的温度组别、最高表面温度和气体、蒸气引燃温度之间的关系符合表 1-47的规定。

表 1-47 Ⅱ类电气设备的温度组别、最高表面温度和气体、蒸气引燃温度之间的关系

电气设备温度组别	电气设备允许最高表面温度/℃	气体/蒸气的引燃温度/℃	适用的设备温度级别
T1	450	＞450	T1～T6
T2	300	＞300	T2～T6
T3	200	＞200	T3～T6
T4	135	＞135	T4～T6
T5	100	＞100	T5～T6
T6	85	＞85	T6

3. 安装在爆炸性粉尘环境中的电气设备应采取措施防止热表面点可燃性粉尘层引起的火灾危险。Ⅲ类电气设备的最高表面温度应按国家现行有关标准的规定进行选择。电气设备结构应满足电气设备在规定的运行条件下不降低防爆性能的要求。

5.2.4 当选用正压型电气设备及通风系统时,应符合下列规定:

1. 通风系统应采用非燃性材料制成,其结构应坚固,连接应严密,并不得有产生气体滞留的死角。

2. 电气设备应与通风系统联锁。运行前应先通风,并应在通风量大于电气设备及其通风系统管道容积的 5 倍时,接通设备的主电源。

3. 在运行中,进入电气设备及其通风系统内的气体不应含有可燃物质或其他有害物质。

4. 在电气设备及其通风系统运行中,对于 px、py 或 pD 型设备,其风压不应低于 50Pa;对于 pz 型设备,其风压不应低于 25Pa。当风压低于上述值时,应自动断开设备的主电源或发出信号。

5. 通风过程排出的气体不宜排入爆炸危险环境;当采取有效防止火花和炽热颗粒从设备及其通风系统吹出的措施时,可排入 2 区空间。

6. 对闭路通风的正压型设备及其通风系统应供给清洁气体。

7. 电气设备外壳及通风系统的门或盖子应采取联锁装置或加警告标志等安全措施。

1.5.3.3 爆炸性环境电气设备的安装

规范引用 《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)



5.3.1 油浸型设备应在没有振动、不倾斜和固定安装的条件下采用。

5.3.2 在采用非防爆型设备作隔墙机械传动时,应符合下列规定:

1. 安装电气设备的房间应用非燃烧体的实体墙与爆炸危险区域隔开;

2. 传动轴传动通过隔墙处,应采用填料函密封或有同等效果的密封措施;

3. 安装电气设备房间的出口应通向非爆炸危险区域的环境;当安装设备的房间必须与爆炸性环境相通时,应对爆炸性环境保持相对的正压。

5.3.3 除本质安全电路外,爆炸性环境的电气线路和设备应装设过载、短路和接地保护,不可能产生过载的电气设备可不装设过载保护。爆炸性环境的电动机除按国家现行有关标准的要求装设必要的保护之外,均应装设断相保护。如果电气设备的自动断电可能引起比引燃危险造成的危险更大时,应采用报警装置代替自动断电装置。

5.3.4 紧急情况下,在危险场所外合适的地点或位置应采取一种或多种措施对危险场所设备断电。连续运行的设备不应包括在紧急断电回路中,而应安装在单独的回路上,防止附加危险产生。

5.3.5 变电所、配电所和控制室的设计应符合下列规定:

1. 变电所、配电所(包括配电室,下同)和控制室应布置在爆炸性环境以外,当为正压室时,可布置在1区、2区内。

2. 对于可燃物质比空气重的爆炸性气体环境,位于爆炸危险区附加2区的变电所、配电所和控制室的电气和仪表的设备层地应高出室外地面0.6m。

1.5.3.4 爆炸性环境电气线路的设计

规范引用 《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)



5.4.1 爆炸性环境电缆和导线的选择应符合下列规定:

1. 在爆炸性环境内,低压电力、照明线路采用的绝缘导线和电缆的额定电压应高于或等于工作电压,且 U_0/U 不应低于工作电压。中性线的额定电压应与相线电压相等,并应在同一护套或保护管内敷设。

2. 在爆炸危险区内,除在配电盘、接线箱或采用金属导管配线系统内,无护套的电线不应作为供配电线路。

3. 在1区内应采用铜芯电缆;陈本质安全电路外,在2区内宜采用铜芯电缆,当采用铝芯电缆时,其截面不得小于16mm^2,且与电气设备的连接应采用铜－铝过渡接头。敷设在爆炸性粉尘环境20区、21区以及在22区内有剧烈振动区域的回路,均应采用铜芯绝缘导线或电缆。

4. 除本质安全系统的电路外,爆炸性环境电缆配线的技术要求应符合表1-48的规定。

表 1-48 爆炸性环境电缆配线的技术要求

项目 / 技术要求 / 爆炸危险区域	电缆明设或在沟内敷设时的最小截面			移动电缆
	电力	照明	控制	
1区、20区、21区	铜芯 2.5mm² 及以上	铜芯 2.5mm² 及以上	铜芯 1.0mm² 及以上	重型
2区、22区	铜芯 1.5mm² 及以上，铝芯 16mm² 及以上	铜芯 1.5mm² 及以上	铜芯 1.0mm² 及以上	中型

5. 除本质安全系统的电路外，在爆炸性环境内电压为 1000V 以下的钢管配线的技术要求应符合表 1-49 的规定。

表 1-49 爆炸性环境内电压为 1000V 以下的钢管配线的技术要求

项目 / 技术要求 / 爆炸危险区域	钢管配线用绝缘导线的最小截面			管子连接要求
	电力	照明	控制	
1区、20区、21区	铜芯 2.5mm² 及以上	铜芯 2.5mm² 及以上	铜芯 2.5mm² 及以上	钢管螺纹旋合不应少于5扣
2区、22区	铜芯 2.5mm² 及以上	铜芯 1.5mm² 及以上	铜芯 1.5mm² 及以上	铜管螺纹旋合不应少于5扣

6. 在爆炸性环境内，绝缘导线和电缆截面的选择除应满足表 1-48 和表 1-49 的规定外，还应符合下列规定：

1)导体允许载流量不应小于熔断器熔体额定电流的 1.25 倍及断路器长延时过电流脱扣器整定电流的 1.25 倍，本款第 2 项的情况除外；

2)引向电压为 1000V 以下鼠笼型感应电动机支线的长期允许载流量不应小于电动机额定电流的 1.25 倍。

7. 在架空、桥架敷设时电缆宜采用阻燃电缆。当敷设方式采用能防止机械损伤的桥架方式时，塑料护套电缆可采用非铠装电缆。当不存在会受鼠、虫等损害情形时，在 2 区、22 区电缆沟内敷设的电缆可采用非铠装电缆。

5.4.2 爆炸性环境线路的保护应符合下列规定：

1. 在 1 区内单相网络中的相线及中性线均应装设短路保护，并采取适当开关同时断开相线和中性线。

2. 对 3～10kV 电缆线路宜装设零序电流保护，在 1 区、21 区内保护装置宜动作于跳闸。

5.4.3 爆炸性环境电气线路的安装应符合下列规定：

1. 电气线路宜在爆炸危险性较小的环境或远离释放源的地方敷设，并应符合下列规定：

1)当可燃物质比空气重时，电气线路宜在较高处敷设或直接埋地；架空敷设时宜采用电缆桥架；电缆沟敷设时沟内应充砂，并宜设置排水措施。

2)电气线路宜在有爆炸危险的建筑物、构筑物的墙外敷设。

3)在爆炸粉尘环境,电缆应沿粉尘不易堆积并且易于粉尘清除的位置敷设。

2. 敷设电气线路的沟道、电缆桥架或导管,所穿过的不同区域之间墙或楼板处的孔洞应采用非燃性材料严密堵塞。

3. 敷设电气线路时避开可能受到机械损伤、振动、腐蚀、紫外线照射以及可能受热的地方,不能避开时,应采取预防措施。

4. 钢管配线可采用无护套的绝缘单芯或多芯导线。当钢管中含有三根或多根导线时,导线包括绝缘层的总截面不宜超过钢管截面的40%。钢管应采用低压流体输送用镀锌焊接钢管。钢管连接的螺纹部分应涂以铅油或磷化膏。在可能凝结冷凝水的地方,管线上应装设排除冷凝水的密封接头。

5. 在爆炸性气体环境内铜管配线的电气线路应做好隔离密封,且应符合下列规定:

1)在正常运行时,所有点燃源外壳的450mm范围内应做隔离密封。

2)直径50mm以上钢管距引入的接线箱450mm以内处应做隔离密封。

3)相邻的爆炸性环境之间以及爆炸性环境与相邻的其他危险环境或非危险环境之间应进行隔离密封。进行密封时,密封内部应用纤维做填充层的底层或隔层,填充层的有效厚度不应小于钢管的内径,且不得小于16mm。

4)供隔离密封用的连接部件,不应作为导线的连接或分线用。

6. 在1区内电缆线路严禁有中间接头,在2区、20区、21区内不应有中间接头。

7. 当电缆或导线的终端连接时,电缆内部的导线如果为绞线,其终端应采用定型端子或接线鼻子进行连接。

铝芯绝缘导线或电缆的连接与封端应采用压接、熔焊或钎焊,当与设备(照明灯具除外)连接时,应采用铜-铝过渡接头。

8. 架空电力线路不得跨越爆炸性气体环境,架空线路与爆炸性气体环境的水平距离不应小于杆塔高度的1.5倍。在特殊情况下,采取有效措施后,可适当减小距离。

1.5.3.5 爆炸性环境接地设计

规范引用 **《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)**

5.5.1 当爆炸性环境电力系统接地设计时,1000V交流/1500V直流以下的电源系统的接地应符合下列规定:

1. 爆炸性环境中的TN系统应采用TN-S型;

2. 危险区中的TT型电源系统应采用剩余电流动作的保护电器;

3. 爆炸性环境中的IT型电源系统应设置绝缘监测装置。

5.5.2 爆炸性气体环境中应设置等电位联结,所有裸露的装置外部可导电部件均应接入等电位系统。本质安全型设备的金属外壳可不与等电位系统连接,制造厂有特殊要求的除外。具有阴极保护的设备不应与等电位系统连接,专门为阴极保护设计的接地系统除外。

5.5.3 爆炸性环境内设备的保护接地应符合下列规定:

1. 按照现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)的有关规定,下列不需要接地的部分,在爆炸性环境内仍应进行接地:

1)在不良导电地面处,交流额定电压为1000V以下和直流额定电压为1500V及以下的

设备正常不带电的金属外壳;

2)在干燥环境,交流额定电压为 127V 及以下,直流电压为 110V 及以下的设备正常不带电的金属外壳;

3)安装在已接地的金属结构上的设备。

2. 在爆炸危险环境内,设备的外露可导电部分应可靠接地。爆炸性环境 1 区、20 区、21 区内的所有设备以及爆炸性环境 2 区、22 区内除照明灯具以外的其他设备均采用专用的接地线。该楼地线与相线敷设在同一保护管内时,应具有与相线相等的绝缘。爆炸性环境 2 区、22 区内的照明灯具,可利用有可靠电气连接的金属管线系统作为接地线,但不得利用输送可燃物质的管道。

3. 在爆炸危险区域不同方向,接地干线应不少于两处与接地体连接。

5.5.4 设备的接地装置与防止直接雷击的独立避雷针的接地装置应分开设置,与装设在建筑物上防止直接雷击的避雷针的接地装置可合并设置,与防雷电感应的接地装置亦可合并设置。接地电阻值应取其中最低值。

5.5.5 0 区、20 区场所的金属部件不宜采用阴极保护,当采用阴极保护时,应采取特殊的设计。阴极保护所要求的绝缘元件应安装在爆炸性环境之外。

1.5.4 特殊场所内的电气安全

1.5.4.1 医疗场所的安全防护

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



12.8.1 本节适用于对患者进行诊断、治疗、整容、监测和护理等医疗场所的安全防护设计。

12.8.2 医疗场所应按使用接触部件所接触的部位及场所分为 0、1、2 三类,各类应符合下列规定:

0 类场所应为不使用接触部件的医疗场所;

1 类场所应为接触部件接触躯体外部及除 2 类场所规定外的接触部件侵入躯体的任何部分;

2 类场所应为将接触部件用于诸如心内诊疗术、手术室以及断电将危及生命的重要治疗的医疗场所。

12.8.3 医疗场所的安全防护应符合下列规定:

1. 在 1 类和 2 类的医疗场所内,当采用安全特低电压系统(SELV)、保护特低电压系统(PELV)时,用电设备的标称供电电压不应超过交流方均根值 25V 和无纹波直流 60V;

2. 在 1 类和 2 类医疗场所,IT、TN 和 TT 系统的约定接触电压均不应大于 25V;

3. TN 系统在故障情况下切断电源的最大分断时间 230V 应为 0.2s,400V 应为 0.05s。IT 系统最大分断时间 230V 应为 0.2s。

12.8.4 医疗场所采用 TN 系统供电时,应符合下列规定:

1. TN-C 系统严禁用于医疗场所的供电系统。

2. 在 1 类医疗场所中额定电流不大于 32A 的终端回路,应采用最大剩余动作电流为 30mA 的剩余电流动作保护器作为附加防护。

3. 在2类医疗场所，当采用额定剩余动作电流不超过30mA的剩余电流动作保护器作为自动切断电源的措施时，应只用于下列回路：

1)手术台驱动机构的供电回路；

2)移动式X光机的回路；

3)额定功率大于5kVA的大型设备的回路；

4)非用于维持生命的电气设备回路。

4. 应确保多台设备同时接入同一回路时，不会引起剩余电流动作保护器(RCD)误动作。

12.8.5 TT系统要求在所有情况下均应采用剩余电流保护器，其他要求应与TN系统相同。

12.8.6 医疗场所采用IT系统供电时，应符合下列规定：

1. 在2类医疗场所内，用于维持生命、外科手术和其他位于“患者区域”内的医用电气设备和系统的供电回路，均应采用医疗IT系统。

2. 用途相同且相毗邻的房间内，至少应设置一套独立的医疗IT系统。医疗IT系统应配置一个交流内阻抗不少于100kΩ的绝缘监测器，并满足下列要求：

1)测试电压不应大于直流25V；

2)注入电流的峰值不应大于1mA；

3)最迟在绝缘电阻降至50kΩ时应发出信号，并应配置试验此功能的器具。

3. 每个医用IT系统应设在医务人员可以经常监视的地方，并应装设配备有下列功能组件的声光报警系统：

1)应以绿灯亮表示工作正常；

2)当绝缘电阻下降到最小整定值时，黄灯应点亮，且应不能消除或断开该亮灯指示；

3)当绝缘电阻下降到最小整定值时，可触发音响报警动作，该音响报警可解除；

4)当故障被清除恢复正常后，黄色信号应熄灭。

当只有一台设备由单台专用的医疗IT变压器供电时，该变压器可不装设绝缘监测器。

4. 医疗IT变压器应装设过负荷和过热的监测装置。

12.8.7 医疗及诊断电气设备，应根据使用功能要求采用保护接地、功能接地、等电位联结或不接地等形式。

12.8.8 医疗电气设备的功能接地电阻值应按设备技术要求确定，宜采用共用接地方式。当必须采用单独接地时，医疗电气设备接地应与医疗场所接地绝缘隔离，两接地网的地中距离应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第12.7.1条的规定。

12.8.9 向医疗电气设备供电的电源插座结构应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第12.6.2条和第12.6.3条的规定。

12.8.10 辅助等电位联结应符合下列规定：

1. 在1类和2类医疗场所内，应安装辅助等电位联结导体，并应将其连接到位于“患者区域”内的等电位联结母线上，实现下列部分之间等电位：

1)保护导体；

2)外界可导电部分；

3)抗电磁场干扰的屏蔽物；

4)导电地板网格；

5)隔离变压器的金属屏蔽层。

2. 在2类医疗场所内,电源插座的保护导体端子、固定设备的保护导体端子或任何外界可导电部分与等电位联结母线之间的导体的电阻不应超过0.2Ω。

3. 等电位联结母线宜位于医疗场所内或靠近医疗场所。在每个配电盘内或在其附近应装设附加的等电位联结母线,并应将辅助等电位导体和保护接地导体与该母线相连接。连接的位置应使接头清晰易见,并便于单独拆卸。

4. 当变压器以额定电压和额定频率供电时,空载时出线绕组测得的对地泄漏电流和外护物的泄漏电流均不应超过0.5mA。

5. 用于移动式和固定式设备的医疗IT系统应采用单相变压器,其额定输出容量不应小于0.5kVA,并不应超过10kVA。

12.8.11 医疗电气设备的保护导体及接地导体应采用铜芯绝缘导线,其截面应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第12.5.3条的规定。

12.8.12 手术室及抢救室应根据需要采用防静电措施。



《工业与民用配电设计手册》第三版



九、医院

医院对不间断供电和对防电击都有很高要求。医院中断供电可能给患者招致生命危险。医疗电气设备不仅与人体表面接触,有时也与人体内部接触。医院中的一些患者在发生灾祸时(包括电气火灾)无逃脱能力,有些患者无法摆脱电击。这些特殊情况都增加了对人身的危险,为此国际电工标准对医院的电气安全提出了更高的要求。

1. 医疗场所的分类和分级

按照国际电工标准,医院内的医疗场所按医疗电气设备与人体接触的状况、断电危险程度和按允许间断供电的时间分类和分级。具体分类和分级见表1-50。

表1-50 医疗场所类别划分和安全供电级别划分示例表

序号	场所名称	类别			级别	
		0	1	2	≤0.5s	>0.5s,≤15s
1	按摩室	×	×			×
2	普通病房		×			
3	产房		×		×①	×
4	心电图室、脑电图室、子宫电图室		×			×
5	心内窥镜室		×②			×②
6	检查或治疗室		×			×
7	泌尿科诊疗室		×②			×②
8	放射线诊断及治疗室(不包括序号21所列的内容)		×			×
9	水疗室		×			×
10	理疗室		×			×
11	麻醉室			×	×①	×
12	手术室			×	×①	×

续表

序号	场所名称	类别			级别	
		0	1	2	≤0.5s	>0.5s,≤15s
13	手术预备室		×	×	×①	×
14	上石膏室		×	×	×①	×
15	手术复苏室		×	×	×①	×
16	心导管室			×	×①	×
17	重症监护室			×	×①	×
18	血管造影检查室			×	×①	×
19	血液透析室		×			×
20	磁共振成像室		×			×
21	核医学室		×			×
22	早产婴儿室			×	×①	×

注:×表示有此项目。

①指需在 0.5s 或更短的时间内恢复供电的灯具或维持生命的医疗电气设备。

②并非指手术室。

(1)按医疗电气设备与人体接触状况的场所分类:

0 类场所——在此场所内不使用有与人体接触的接触部件的医疗电气设备;

1 类场所——在此场所(不包括 2 类场所)内使用有与人体表面接触或进入人体内的接触部件的医疗电气设备;

2 类场所——在此场所内使用做心脏手术的医疗电气设备(即接触部件进入心脏或接触心脏的医疗设备)或中断供电将导致生命危险的医疗电气设备。

(2)按允许间断供电时间的场所分级:

≤0.5s 级场所——此场所要求在 0.5s 内恢复供电;

>0.5s,≤15s 级场所——此场所可在大于 0.5s 但不大于 15s 内恢复供电。

2.1 类和 2 类场所内的防电击措施

(1)采用特低电压(回路导体不接地的 SELV 或回路导体可接地的 PELV)时应满足以下要求:

1)用电设备的标称电压不应大于 AC 25V 或无波纹 DC 60V;

2)应为带电部分设置遮拦物或外护物,或将带电部分包以绝缘;

3)手术室灯具外壳等电气设备外露导电部分应包括在医疗电气设备的局部等电位联结范围内。

(2)采用自动切断故障电路保护措施时应满足以下要求:

1)在医疗场所和与其电气上有联系的场所内不允许采用 TN-C 系统;

2)采用 TN-S 系统和 TT 系统时,在 1 类和 2 类场所内 32A 及以下电源插座回路应装设 RCD,RCD 额定动作电流不应大于 30mA。

3)采用 TT 系统时还应满足下式要求:

$$I_a R_A \leqslant 25\text{V}$$

式中 R_A——PE 线和接地极电阻之和(Ω);

I_a——保护电器规定时间内能可靠动作的电流(A)。

4)在2类场所内,至少在离患者手术台1.5m范围内的医疗电气设备应由隔离变压器引出的IT系统供电。此IT系统的绝缘监测器的交流内阻不应小于100kΩ,试验电压不应大于25V,其注入电流峰值(包括故障情况下)不应大于1mA。当绝缘电阻下降时,最迟降至50kΩ时应发出信号。

应将IT系统的绝缘监测的声光信号安装在合适的位置,使医务人员在手术过程中便于监视。应以不同颜色的灯光显示系统不同的绝缘状况。例如,绿灯亮表示系统的绝缘正常,黄灯亮表示系统绝缘电阻下降至最小整定值。降至最小整定电阻值时应发出音响信号。黄色灯光信号的电路在排除故障前不允许切断;音响信号允许中止,但信号电路不应切断。

(3)局部等电位联结的设置应满足以下要求:

1)联结范围应包括PE线、装置外导电部分、防电气干扰的金属屏蔽物、导电地板的金属网格、隔离变压器的金属屏蔽层(如果有)等。

2)等电位联结的端子板与插座、固定设备的保护线端子或任一装置外导电部分间的联结线的电阻(包括接头的电阻在内)不应大于0.2Ω。

3)宜在配电箱近旁设置等电位联结端子板以便连接等电位联结线,它应易于观察并便于将联结线分别拆卸进行检验。

3. 线路敷设

医院内有众多难以行动的患者,因此防止线路短路、避免停电和线路火灾的发生具有特殊的重要性。医院的敷线对以下几个问题应予特别注意:

(1)备用柴油发电机与其配电柜间的敷线以及蓄电池与其充电器之间的敷线,由于此段线路无保护,应重视防止短路和接地故障的发生,其保护措施详见下述(4)项。

(2)在2类场所内应避免其他无关的电气线路通过。

(3)线路的位置应尽量避免靠近易燃物质。

(4)视具体条件采取下列措施,防止短路和接地故障的发生:

1)在外护物内,或在上锁的电气间内,用硬电线以绝缘子布线,并使相间或相地间保持适当距离,或用定位隔板予以分隔。

2)用单芯绝缘电线以下列方式敷线:

a.用定位隔板使电线间保持合适的距离;

b.将电线安置在各自的线槽内,或安置在线槽中分开的沟槽内;

c.将电线分穿各自的套管。

3)采用单芯护套电缆敷线。

4)采用相对地额定电压/线间额定电压不低于1.8/3kV的电缆敷线。

5)将护套电缆和塑料护套电线敷设在上锁的电气间内,线路应便于观察和测试,且附近应无易燃物质。

6)将线路敷设在即使发生短路或接地故障也无从引起火灾的地方,例如,将电缆敷设在地下。

4. 过电流保护

在2类场所内的末端回路应装设短路保护和过载保护。但IT系统隔离变压器的一、二次侧只设短路保护,不设过载保护,以减小断电概率。

5.2类场所的医用IT系统内装设插座的要求

(1)每一患者治疗处应引来至少两回分开的插座回路;

(2)当同一场所尚有自 TN-S 或 TT 系统供电的插座时,医用 IT 系统的插座应为:

1)其他系统用的插头无法插入;

2)具有明显的可供区别的标志。

6.安全电源

医院的正常电源的总配电箱处的电压降至标称电压的 90%以下时,一些需继续用电的医疗电气设备应转换至安全电源继续供电一定的时间。不同电气设备对倒换电源允许的间断时间和其后维持供电的持续时间应区别对待,并有不同的要求。

其他安全设施的要求如下:

(1)下列设施要求在 15s 内恢复供电,如电源为发电机组,要求能持续供电时间最短为 24h。

1)疏散通道照明灯;

2)出口标志灯;

3)安全电源发电机组的开关柜、控制盘处的照明灯和正常电源、安全电源配电盘处的照明灯;

4)水、气等重要设施维护操作间的至少一个照明灯;

5)1 类场所至少一个照明灯,2 类场所至少 50%的照明灯;

6)消防电梯;

7)排烟机;

8)呼叫服务设备;

9)医用气体供应设备(如空气压缩机)、抽真空器、麻醉气体施加器及其监视器等;

10)火灾报警设备和喷淋设备;

11)2 类医疗场所内用于外科手术或其他重要用途的医疗电气设备,这类设备由医院主管人员指定。

(2)下列电气设备可超过 15s 恢复供电,这些设备系上述(1)项以外的公用设施设备,可自动或手动转接至独立的发电机组电源:

1)消毒设备;

2)空调、采暖、通风、生活服务、废弃物处理等设备;

3)冷藏设备;

4)炊事设备;

5)蓄水池充电设备。

1.5.4.2 浴室、游泳池和喷水池及其他的安全防护

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

12.9.1 本节适用于浴室、游泳池和喷水池及其周围,由于人身电阻降低和身体接触地电位而增加电击危险的安全防护。

12.9.2 浴池的安全防护应符合下列规定:

1. 安全防护应根据所在区域采取相应的措施。区域的划分应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)附录 D 的规定。

2. 建筑物除应采取总等电位联结外,还应进行辅助等电位联结。

辅助等电位联结应将0、1及2区内所有外界可导电部分与位于这些区内的外露可导电部分的保护导体连接起来。

3. 在0区内,应采用标称电压不超过12V的安全特低电压供电,其安全电源应设于2区以外的地方。

4. 在使用安全特低电压的地方,应采取下列措施实现直接接触防护:

1)应采用防护等级至少为IP2X的遮拦物或外护物;

2)应采用能耐受500V试验电压历时1min的绝缘。

5. 不得采取用阻挡物及置于伸臂范围以外的直接接触防护措施;也不得采用非导电场所及不接地的等电位联结的间接接触防护措施。

6. 除安装在2区内的防溅型剃须插座外,各区内所选用的电气设备的防护等级应符合下列规定:

1)在0区内应至少为IPX7;

2)在1区内应至少为IPX5;

3)在2区内应至少为IPX4(在公共浴池内应为IPX5)。

7. 在0、1及2区内宜选用加强绝缘的铜芯电线或电缆。

8. 在0、1及2区内,非本区的配电线路不得通过;也不得在该区内装设接线盒。

9. 开关和控制设备的装设应符合以下要求:

1)0、1及2区内,不应装设开关设备及线路附件;当在2区外安装插座时,其供电应符合下列条件:

——由隔离变压器供电;

——由安全特低电压供电;

——剩余电流动作保护器保护的线路供电,其额定动作电流值不应大于30mA。

2)开关和插座距预制淋浴间的门口不得小于0.6m。

10. 当未采用安全特低电压供电及安全特低电压用电器具时,在0区内,应采用专用于浴盆的电器;在1区内,只可装设电热水器;在2区内,只可装设电热水器及Ⅱ类灯具。

12.9.3 游泳池的安全防护应符合下列规定:

1. 安全防护应根据所在区域采取相应的措施。区域的划分应符合附录E的规定。

2. 建筑物除应采取总等电位联结外,还应进行辅助等电位联结。

辅助等电位联结,应将0、1及2区内下列所有外界可导电部分及外露可导电部分用保护导体连接起来,并经过总接地端子与接地网相连:

1)水池构筑物的水池外框,石砌挡墙和跳水台中的钢筋等所有金属部件;

2)所有成型外框;

3)固定在水池构筑物上或水池内的所有金属配件;

4)与池水循环系统有关的电气设备的金属配件;

5)水下照明灯具的外壳、爬梯、扶手、给水口、排水口及变压器外壳等;

6)采用永久性间隔将其与水池区域隔离的所有固定的金属部件;

7)采用永久性间隔将其与水池区域隔离的金属管道和金属管道系统等。

3. 在0区内,应用标称电压不超过12V的安全特低电压供电,其安全电源应设在2区以外的地方。

4. 在使用安全特低电压的地方,应采取下列措施实现直接接触防护:

1)应采用防护等级至少是 IP2X 的遮拦物或外护物；

2)应采用能耐受 500V 试验电压历时 1min 的绝缘。

5. 不得采取阻挡物及置于伸臂范围以外的直接接触防护措施；也不得采用非导电场所及不接地的局部等电位联结的间接接触防护措施。

6. 在各区内所选用的电气设备的防护等级应符合下列规定：

1)在 0 区内应至少为 IPX8；

2)在 1 区内应至少为 IPX5(但是建筑物内平时不用喷水清洗的游泳池，可采用 IPX4)；

3)在 2 区内应至少为：IPX2，室内游泳池时；IPX4，室外游泳池时；IPX5，用于可能用喷水清洗的场所。

7. 在 0、1 及 2 区内宜选用加强绝缘的铜芯电线或电缆。

8. 在 0 及 1 区内，非本区的配电线路不得通过；也不得在该区内装设接线盒。

9. 开关、控制设备及其他电气器具的装设，应符合下列要求：

1)在 0 及 1 区内，不应装设开关设备或控制设备及电源插座。

2)当在 2 区内装设插座时，其供电应符合下列要求：

——可由隔离变压器供电；

——可由安全特低电压供电；

——由剩余电流动作保护器保护的线路供电，其额定动作电流值不应大于 30mA。

3)在 0 区内，除采用标称电压不超过 12V 的安全特低电压供电外，不得装设用电器具及照明器。

4)在 1 区内，用电器具必须由安全特低电压供电或采用Ⅱ级结构的用电器具。

5)在 2 区内，用电器具应符合下列要求：

——宜采用Ⅱ类用电器具；

——当采用Ⅰ类用电器具时，应采取剩余电流动作保护措施，其额定动作电流值不应超过 30mA；

——应采用隔离变压器供电。

10. 水下照明灯具的安装位置，应保证从灯具的上部边缘至正常水面不低于 0.5m。面朝上的玻璃应采取防护措施，防止人体接触。

11. 对于浸在水中才能安全工作的灯具，应采取低水位断电措施。

12.9.4 喷水池的安全防护应符合下列规定：

1. 安全防护应根据所在不同区域采取相应的措施。区域的划分应符合附录 F 的规定。

2. 室内喷水池与建筑物除应采取总等电位联结外，还应进行辅助等电位联结；室外喷水池在 0、1 区域范围内均应进行等电位联结。

辅助等电位联结，应将防护区内下列所有外界可导电部分与位于这些区域内的外露可导电部分用保护导体连接，并经过总接地端子与接地网相连；

1)喷水池构筑物的所有外露金属部件及墙体内的钢筋；

2)所有成型金属外框架；

3)固定在池上或池内的所有金属构件；

4)与喷水池有关的电气设备的金属配件；

5)水下照明灯具的外壳、爬梯、扶手、给水口、排水口、变压器外壳、金属穿线管；

6)永久性的金属隔离栅栏、金属网罩等。

3. 喷水池的0、1区的供电回路的保护,可采用下列任一种方式:

1)对于允许人进入的喷水池,应采用安全特低电压供电,交流电压不应大于12V;不允许人进入的喷水池,可采用交流电压不大于50V的安全特低电压供电;

2)由隔离变压器供电;

3)由剩余电流动作保护器保护的线路供电,其额定动作电流值不应大于30mA。

4. 在采用安全特低电压的地方,应采取下列措施实现直接接触防护:

1)应采用防护等级至少是IP2X的遮拦物或外护物;

2)应采用能耐受500V试验电压、历时1min的绝缘。

5. 电气设备的防护等级应符合下列规定:

1)0区内应至少为IPX8;

2)1区内应至少为IPX5。

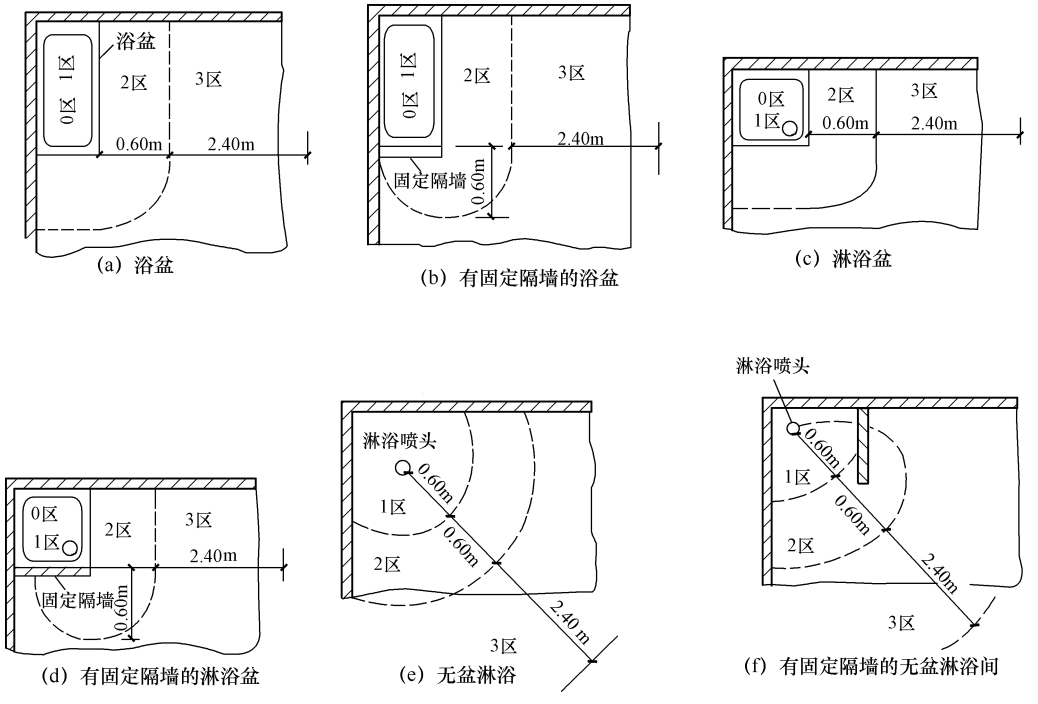
规范引用 《工业与民用配电设计手册》第三版

一、浴室

浴室内既积水又溅水,人体阻抗因皮肤浸湿而显著降低,而人体又可能同时接触带不同电位的金属管道和构件,电击危险很大,因此对浴室的电气安全应予以足够的重视。

1. 浴室内的区域划分

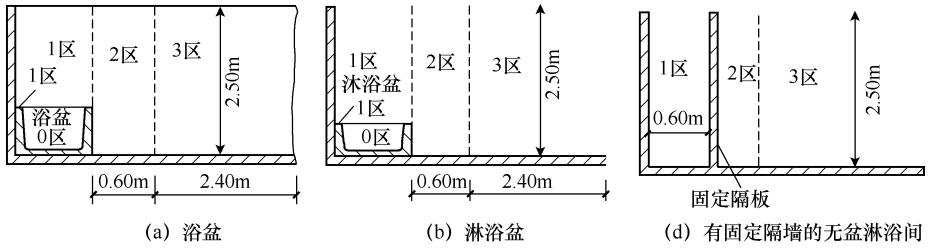
按电击危险程度将浴室内划分为四个区,见图1-28及图1-29。



(a) 浴盆　(b) 有固定隔墙的浴盆　(c) 淋浴盆

(d) 有固定隔墙的淋浴盆　(e) 无盆淋浴　(f) 有固定隔墙的无盆淋浴间

图1-28 浴室内区域划分(平面)



(a) 浴盆　(b) 淋浴盆　(d) 有固定隔墙的无盆淋浴间

图 1-29　浴室内区域划分(立面)

图中：

0 区——浴盆或淋浴盆内部；

1 区——围绕浴盆或淋浴盆外边缘的垂直面内，或距淋浴喷头 0.6m 的垂直面内，其高度止于离地面 2.25m 处；

2 区——1 区至离 1 区 0.6m 的平行垂直面内，其高度止于离地面 2.25m 处；

3 区——2 区至离 2 区 2.4m 的平行垂直面内，其高度止于离地面 2.25m 处。

2. 防电击措施

(1)在 0 区内只允许用 12V 及以下的特低电压(SELV)(即回路导体和设备外壳都不接地的特低电压)供电，其电源(如隔离特低电压变压器)应设置在 0 区以外。

(2)0 区及 1 区内不允许装设插座，在 2 区内装设插座应符合下列条件之一：

1)由隔离变压器供电；

2)由特低电压(SELV)供电；

3)用额定动作电流 $I_{\Delta n}$ 不大于 30mA 的 RCD 做接地故障保护。

(3)在 0、1 区及 2 区内应做局部等电位联结。

(4)如用特低电压供电，仍需采取防直接接触电击措施，即应符合下列要求之一。

1)设置防护等级不低于 IP2X 的遮拦物或外护物；

2)采用能耐受持续 1min 的 500V 电压的绝缘。

3. 电气设备的选用和安装

(1)电气设备至少应具备以下的防水等级：

0 区为 IPX7 级；

1 区为 IPX5 级；

2 区为 IPX4 级(在公共浴室内为 IPX5 级)；

3 区为 IPX1 级。

(2)浴室内的明敷线路和埋墙深度不超过 50mm 的暗敷线路应符合以下要求：

1)应采用无金属外皮的双重绝缘线路，如套绝缘管的绝缘电线或具有非金属护套的多芯电缆；

2)在 0、1 区及 2 区内不应通过与该区内用电设备无关的线路；

3)在 0、1 区及 2 区内不允许安装接线盒。

(3)开关和附件的安装要求如下：

1)在 0、1 区及 2 区内严禁安装开关和附件，但在 1 区及 2 区内允许安装拉线开关的绝缘拉线。

2)在 3 区内允许安装插座，但必须符合本节一条 2 款(2)项的要求。

3)当浴室内有成品组装式淋浴小间时，开关和插座的安装位置应至少离淋浴间的门口 0.6m。

(4)用电设备的安装要求如下:

1)在0区内只允许装设专用于浴盆内的用电设备。

2)在1区内只可装设防护等级不低于IPX4的电热水器。

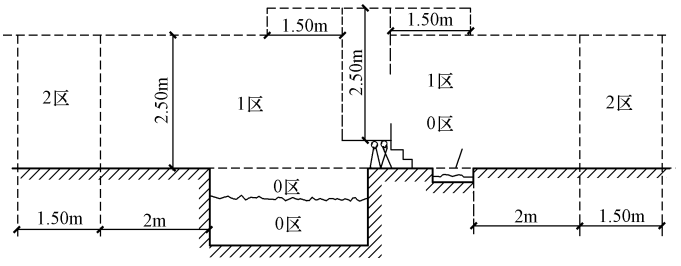
3)在2区内只可装设电热水器和Ⅱ类防电击类别的照明器。

二、游泳池

就电气安全而言,游泳池的某些环境条件与浴室类似,但其分区和采取的措施不尽相同。

1.游泳池的区域划分

按电气危险程度将游泳池划分为三个区,见图1-30。



注:所示尺寸已计入墙壁及固定隔墙的厚度。

图1-30 游泳池和涉水池的区域划分

图中:

0区——水池内部。

1区——离水池边缘2m的垂直面内,其高度止于距地面或人能达到的水平面的2.5m处。对于跳台或滑槽,该区的范围包括离其边缘1.5m的垂直面内,其高度止于人能达到的最高水平面的2.5m处。

2区——1区至离1区1.5m的平行垂直面内,其高度止于离地面或人能达到的水平面的2.5m处。

2.防电击措施

(1)在0区内只允许用12V及以下的特低电压(SELV)供电,其电源(如隔离特低电压变压器)应设置在0、1区和2区以外。

(2)0区及1区内不允许装设插座,在2区内装设插座应符合下列条件之一:

1)由隔离变压器供电;

2)由特低电压(SELV)供电;

3)用额定动作电流$I_{\triangle n}$不大于30mA的RCD做接地故障保护。

(3)在0、1区及2区内应做局部等电位联结。

(4)如用特低电压(SELV)供电,防直接电击应符合下列要求之一:

1)设置不低于IP2X防护等级的遮栏或外护物;

2)采用能耐受持续1min的500V电压的绝缘。

3.电气设备的选用和安装

(1)电气设备至少应具备以下的防水等级:

0区内为IPX8级;

1区内为IPX4级;

2区内:户内游泳池为IPX2级;户外游泳池为IPX4级。

(2)上述各区的明敷线路和埋墙深度不超过50mm的暗敷线路应符合以下要求:

1)应采用非金属护套或非金属套管的双重绝缘线路,如套绝缘管的绝缘电线或具有非金属护套的多芯电缆;

2)在0区及1区内不应通过与该区内用电设备无关的线路;

3)在0区及1区内不允许安装接线盒。

(3)开关和附件的安装要求如下:

1)在0区及1区内严禁安装开关和附件;

2)在2区内允许安装插座,但必须符合本节二条2款(2)项的要求。

(4)用电设备的选用和安装要求如下:

1)在0区内只能安装不超过12V的特低电压(SELV)的用电没备和灯具;

2)在1区内只能安装特低电压(SELV)设备,当为固定式设备时也可采用Ⅱ类防电击类别的设备;

3)在2区内如不由特低电压(SELV)供电,用电设备的安装应符合下列条件之一:

a.采用Ⅱ类防电击类别的设备;

b.采用Ⅰ类防电击类别的设备时,用额定动作电流 $I_{\Delta n}$ 不超过30mA的RCD作保护;

c.用隔离变压器供电。

三、喷水池

喷水池和游泳池颇多类似,但也有许多不同处,在游泳池内人体是侵入水内的,人体阻抗大幅度下降,为此游泳池内电气设备和线路的电压不得超过12V。而作为景观的喷水池,池内的潜水泵和水下照明灯具的功率较大,需用220V电压供电。如果这类设备或线路绝缘损坏,水下可能因出现危险的电位梯度而引起人身电击事故。因此在电源未切断时人体是不允许进入喷水池内的(包括涉水),否则应按照游泳池的要求来处理。即使如此也不能排除意外情况的发生,例如,水下的220V设备和线路绝缘损坏时不懂电气安全知识的人误入池内,或池边的人不慎坠入池内,从而引发电击事故。为此应按喷水池用电特点采取适当措施避免事故的发生。

本节将陈述一些喷水池不同于游泳池的要求,相同的要求不重叙。

1.喷水池的区域划分

喷水池没有2区,只有0区和1区:

0区——水池内部;

1区——离水池边缘2m的垂直面内,其高度止于距地面或人体能到达的水平面的2.5m处。

喷水池区域划分的示例见图1-31。

2.0区和1区的防电击措施

在0区和1区内应采取下列防电击措施之一:

(1)采用50V及以下的特低电压(SELV)供电,其电源设备(如降压隔离变压器)应设置在0区和1区以外;

(2)220V电气设备装用额定动作电流 $I_{\Delta n}$ 不大于30mA的RCD,在发生绝缘故障时立即切断电源。

(3)220V电气设备用隔离变压器供电,每个隔离电源(一台变压器或其一个二次绕组)只供给一台电气设备。

3.布线要求

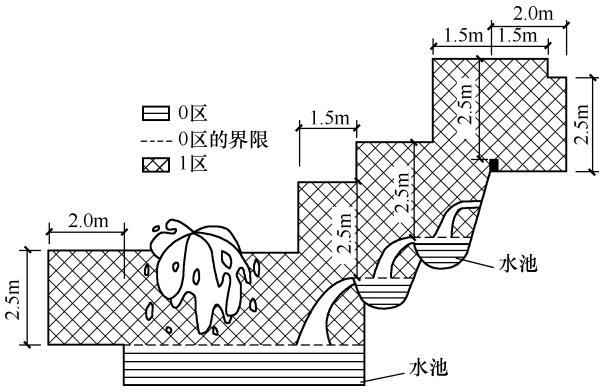


图 1-31 喷水池区域划分的示例

喷水池的布线应满足下列要求：

0 区内电气设备的电源电缆应尽量远离水池的边缘，在水池内它应尽量以最短捷的路径接至设备。电缆应穿绝缘管以方便更换电缆，在 1 区内应注意做适当的机械保护。

布线应采用 602451EC66 型电缆或至少与其等效的类型的电缆。电缆生产厂应保证该电缆除符合 IEC60245—1 和 IEC60245—4 的规定外，还应保证该电缆与水长期接触而不劣化。

4. 接线盒的应用

除 1 区内的特低电压(SELV)回路外，国际电工标准不允许在 0 区和 1 区内装用电缆接线盒。但我国市售水下电气设备配带的电源电缆的长度有限，常需用接线盒来延长线路。美国(国家电气法规)(NEC)允许在喷水池内装用接线盒，但要求和电缆套管做丝扣连接，并采取其他密封防水措施，如接线盒应为铜质或其他防锈蚀材质，盒内应填满化合物填料以防水分渗入等。接线盒还应妥善和 PE 线连接。

5. 电气设备的选用和安装

在 0 区和 1 区内的灯具应是固定安装型的，它应符合 IEC60598—2—18 的规定，即这种灯具是能用于水下以白炽灯泡为光源的灯具。

0 区和 1 区内的灯具和其他电气设备的电压可高达 220V，故这类设备在水下的安装应能防止人体的触及，为此应为这类设备装设只能用工具才能拆卸的网格玻璃或网栅来加以遮挡。

四、桑拿浴室

桑拿浴室比一般浴室温度高，因此在电气安全上还应增加耐高温的要求。

1. 桑拿浴室的区域划分

按耐高温水平将桑拿浴室内划分为四个区，见图 1-32，图中：

1 区——离加热器边缘 0.5m 的垂直面内，其高度止于离顶板 0.3m 处；

2 区——1 区以外离地面 0.5m 水平面以下的区域；

3 区——1 区以外离地面 0.5m 水平面和离顶板 0.3m 水平面之间的区域；

4 区——顶板至离顶板 0.3m 水平面之间的区域。

2. 防电击措施

桑拿浴室内如用隔离特低电压供电，防直接电击应符合下列要求之一：

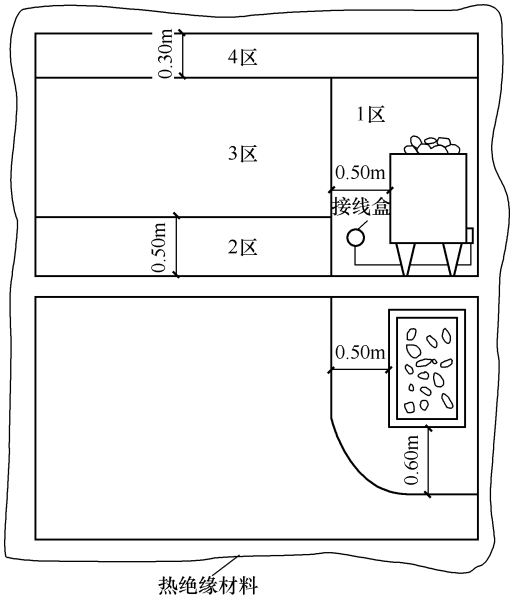


图 1-32 桑拿浴室内区域划分(平面及立面)

(1)设置不低于 IP2X 防护等级的遮栏或外护物;

(2)采用能耐受持续 1min 的 500V 电压的绝缘。

3.电气设备和线路的选用和安装

(1)电气设备应至少具备 IP24 防护等级的遮栏和外护物。

各区对设备和线路的安装和性能要求如下:

1 区——除加热器外不应装设无关的设备和线路;

2 区——对设备和线路的耐热性能无特殊要求;

3 区——电气设备应至少耐 125℃高温,线路的绝缘应至少耐 170℃的高温;

4 区——只能装设加热器的调温器和过热保护器以及与其有关的线路,其耐高温性能与 3 区内相同。

(2)线路的敷设应采用非金属护套或非金属套管的双重绝缘的电线电缆,如套绝缘管的绝缘电线或具有非金属护套的多芯电缆。

(3)开关和附件的安装要求如下:

1)除加热器带的开关外,其他开关应安装在桑拿浴室之外。

2)在桑拿浴室内不得安装插座。

3)应在 4 区内装设限温器,当 4 区内温度超过 140℃时应能切断桑拿浴室加热器的电源。

六、狭窄导电场所

狭窄导电场所指主要由带地电位的金属导电部分构成的狭窄场所,如锅炉和金属罐槽内部,在此等场所内难以防止人体与上述导电部分接触。当向此类场所引入通常的电源线路时,如绝缘损坏人体极易遭受危险电位差引起的电击而导致伤亡。本节所述均为防电击的要求和措施。

1.移动式或手握式设备的供电

1)采用特低电压(SELV)。

2)采用1∶1隔离变压器供电,一个二次绕组只能接用一台设备。应优先采用Ⅱ类防电击类别的设备,如采用Ⅰ类设备,则设备应至少有一个手柄为绝缘材料制成,或将其用绝缘层包覆。

2.手提灯的供电

手提灯应以特低电压(SELV)供电。内装双绕组变压器的荧光灯管手提灯也可作此用途。

3.固定式设备的供电

固定式设备的供电应符合下列条件之一:

(1)用保护电器自动切断电源时,在该场所内做局部等电位联结;

(2)采用特低电压(SELV);

(3)采用1∶1隔离变压器供电,一个二次绕组只能接用一台设备。

4.其他要求

当固定式设备需做功能接地时(如某些测量和控制设备的功能接地),功能接地不得设单独的接地极,如设单独的接地极,则应与该场所内所有外露导电部分、装置外导电部分互相连通,以实现等电位联结而共用接地装置。

七、数据处理设备的电气装置

为抑制电源线路导入的干扰,数据处理设备常在其内的电源线路上配置有大电容量的滤波器,因此正常工作时就存在较大的对地泄漏电流。当此电流大于人体摆脱电流阈值10mA时,如果设备的PE线中断,接地失效,即使未发生接地故障,人体如触及设备外露导电部分也将承受危险的接触电压。由于这类设备的接地具有特殊的要求,因此应注意采取相应的有效防电击措施。

数据处理设备过大的正常泄漏电流和接通电源时大电容的充电电流能引起RCD的误动作,使接用设备的数量受到限制。

1.正常泄漏电流超过10mA时防止PE线中断导致电击危险的措施

(1)提高PE线的机械强度,其措施如下:

1)当采用单独的PE线时(即PE线不是多芯电缆的芯线),PE线的截面不应小于$10mm^2$,双PE线的每根PE线截面不应小于$4mm^2$。

2)当PE线为多芯电缆中的芯线时,电缆中芯线截面的总和不应小于$10mm^2$。

3)当采用电线、电缆套金属管的敷设方式,且PE线与金属管并联时,芯线截面不应小于$2.5mm^2$。

4)利用能保证导电连续性,且具有足够电导的金属硬或软套管、母线槽管、槽盒、电缆屏蔽层等做PE线。

5)设备和电源的连接不用插头、插座,而用固定的线路连接方式。

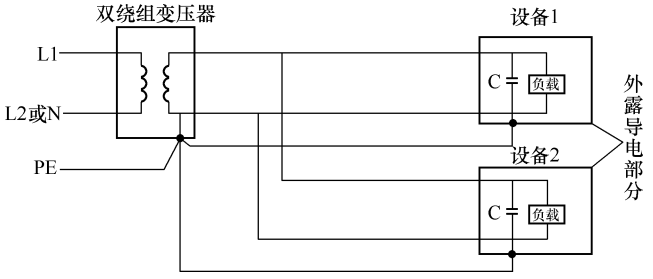
(2)装设PE线导电连续性的监测器,当PE线中断时自动切断电源。

(3)利用双绕组变压器限制电容泄漏电流的流经范围和路径中断的概率,其连接如图1-33所示。双绕组变压器的二次回路宜采用TN系统。如有特殊需要时也可采用IT系统。

采用双绕组变压器时仍应满足上述(1)、(2)项的要求。

2.对TT、IT系统的补充要求

(1)采用TT系统时在供电回路上如设置RCD,其额定动作电流应符合下式要求



注:1. C 为滤波电容。

2. L 和 N 接至电源;PE 接至总接地端子,它既用作保护接地线也用作功能接地线。

图 1-33 数据处理设备与双绕组变压器的连接(图中仅示单相系统)

$$I_l \leqslant \frac{I_{\Delta n}}{2} \leqslant \frac{U_L}{2R_A} \tag{1-10}$$

式中 I_l——总泄漏电流(A);

R_A——接地极电阻(Ω);

$I_{\Delta n}$——RCD 额定动作电流(A);

U_L——接触电压限值(V)。

如不能满足上述要求,应采取前述利用双绕组变压器的措施。

(2)采用 IT 系统时补充要求如下:

1)当因过大的泄漏电流,不能满足 $I_d R_A \leqslant 50V$ 的要求时,不宜将大泄漏电流的设备直接接入 IT 系统中。如果可能,可经一双绕组变压器在二次转换为 TN 系统给设备供电,以便在发生接地故障时迅速切断故障电路。

2)当满足式 $R_A I_d \leqslant 50V$ 要求,且设备制造厂明确该设备可直接接于 IT 系统内时,设备可直接由 IT 系统供电。当此 IT 系统的电源经阻抗接地时,设备的外露导电部分应通过 PE 线直接接至电源的接地极来实现接地。

3. 低干扰水平接地装置的防电击措施。

(1)数据处理设备的外露导电部分应用绝缘导体直接接至建筑物进线处的总接地母排做一点接地。需做功能接地的Ⅱ类和Ⅲ类防电击类别的设备的外露导电部分的接地,以及功能特低电压(FELV)回路的接地也应直接接至总接地母排。严禁将数据处理设备的外露导电部分接至单独的接地极,而不与接地母排相连通。个别情况下,如总接地母排上的干扰水平过高,或数据处理设备对干扰十分敏感时,应另采取有效的抗干扰措施。

(2)低干扰水平的安全接地应注意满足下述一般安全接地的要求:

1)保证用作接地故障保护的过电流保护器对过电流保护的有效性;

2)防止设备的外露导电部分出现过高的接触电压,并保证设备和邻近金属物体和其他设备之间在正常情况和故障情况下的等电位联结的有效性;

3)防止过大对地泄漏电流带来的危险。

1.6 电气设备防误操作的要求及措施

1.6.1 防误装置的功能

防误装置应实现以下功能(简称“五防”);

(1)防止误分、误合断路器。

(2)防止带负荷拉、合隔离开关。

(3)防止带电合(挂)接地开关(线)。

(4)防止带接地线(开关)合断路器(隔离开关)。

(5)防止误入带电间隔。

高压开关柜及间隔式的配电装置(间隔)有网门时,应满足“五防”功能的要求。

1.6.2 设计、制造及选用防误装置的原则

(1)新订购的高压开关设备,必须具有性能和质量符合要求的防误装置,对不符合要求的不得订货。

(2)新设计的变电工程中采用防误装置和操作程序,应经运行部门审查。

(3)新设计的变电工程中采用的防误装置,应做到与主设备同时投运。

1)防误装置的结构应简单、可靠,操作维护方便,尽可能不增加正常操作和事故处理的复杂性。

2)电磁锁应采用间隙式原理,锁栓能自动复位。

3)成套的高压开关设备用防误装置,应优先选用机械联锁。

4)防误装置应有专用工具(钥匙)进行解锁。

5)防误装置应满足所配用设备的操作要求,并与所配用设备的操作位置相对应。

6)防误装置应不影响开关设备的主要技术性能(如分合闸时间、速度等)。

7)防误装置所用的电源应与继电保护、控制回路的电源分开。

8)防误装置应做到防尘、防异物、防锈、不卡涩。户外的防误装置还应有防水、防潮、防霉的措施。

9)“五防”中除防止误分、误合断路器可采用提示性的装置外,其他“四防”应采用强制性装置。

10)新设计的户外 110kV 及复杂接线,应优先采用电气联锁或电磁锁方案。

11)户内配电装置改造加装防误装置,应优先采用机械程序锁或电磁锁。

12)应选用符合产品标准、功能齐全的产品。对不符合要求的应予以退换,并在订货合同中加以说明。

1.7 电气工程设计的防火要求及措施

1.7.1 20kV及以下变电所设计的防火要求及措施

规范引用 《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2014)



《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2014)中强制性条文参考1.1节。

6.1.4 变压器室的通风窗,应采用非燃烧材料。

1.7.2 建筑设计防火要求及措施

规范引用 《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)



《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)中强制性条文参考1.1节。

5.4.1 燃煤、燃油或燃气锅炉、油浸电力变压器、充有可燃油的高压电容器和多油开关等用房宜独立建造。当确有困难时可贴邻民用建筑布置,但应采用防火墙隔开,且不应贴邻人员密集场所。

11.1.2 一级负荷供电的建筑,当采用自备发电设备作备用电源时,自备发电设备应设置自动和手动启动装置,且自动启动方式应能在30s内供电。

11.1.5 消防控制室、消防水泵房、防烟与排烟风机房的消防用电设备及消防电梯等的供电,应在其配电线路的最末一级配电箱处设置自动切换装置。

11.2.2 电力电缆不应和输送甲、乙、丙类液体管道、可燃气体管道、热力管道敷设在同一管沟内。

配电线路不得穿越通风管道内腔或敷设在通风管道外壁上,穿金属管保护的配电线路可紧贴通风管道外壁敷设。

11.2.3 配电线路敷设在有可燃物的闷顶内时,应采取穿金属管等防火保护措施;敷设在有可燃物的吊顶内时,宜采取穿金属管、采用封闭式金属线槽或难燃材料的塑料管等防火保护措施。

11.2.5 可燃材料仓库内宜使用低温照明灯具,并应对灯具的发热部件采取隔热等防火保护措施;不应设置卤钨灯等高温照明灯具。

配电箱及开关宜设置在仓库外。

1.7.3 3～110kV高压配电装置设计的防火要求及措施

规范引用 《3～110kV高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008)



5.5.1 35kV屋内敞开式配电装置的充油设备应安装在两侧有隔墙(板)的间隔内;66～110kV屋内敞开式配电装置的充油设备应安装在有防爆隔墙的间隔内。

总油量超过100kg的屋内油浸电力变压器,应安装在单独的变压器间内,并应设置灭火

设施。

5.5.2 屋内单台电气设备的油量在100kg以上时,应设置贮油设施或挡油设施。挡油设施的容积应按容纳20%油量设计,并应有将事故油排至安全处所的设施;当不能满足上述要求时,应设置能容纳100%油量的贮油设施。

排油管的内径不应小于150mm,管口应加装铁栅滤网。

5.5.3 屋外单台电气设备的油量在1000kg以上时,应设置贮油或挡油设施。当设置有容纳20%油量的贮油或挡油设施时,应设置将油排到安全处所的设施,且不应引起污染危害。

当不能满足上述要求时,应设置能容纳100%油量的贮油或挡油设施。贮油和挡油设施应大于设备外廓每边各1000mm,四周应高出地面100mm。贮油设施内应铺设卵石层,卵石层厚度不应小于250mm,卵石直径为50～80mm。

当设置有油水分离措施的总事故贮油池时,贮油池容量宜按最大一个油箱容量的60%确定。

5.5.4 油量为2500kg及以上的屋外油浸变压器之间的最小净距应符合表1-51的规定。

表1-51 屋外油浸变压器之间的最小净距 (m)

电压等级	最小净距
35kV及以下	5
66kV	6
110kV	8

5.5.5 油量为2500kg及以上的屋外油浸变压器之间的防火间距不能满足表1-51的要求时,应设置防火墙。

防火墙的耐火极限不宜小于4h。防火墙的高度应高于变压器油枕,其长度应大于变压器贮油池两侧各1000mm。

5.5.6 油量在250kg及以上的屋外油浸变压器或电抗器与本回路油量为600～2500kg的充油电气设备之间的防火间距,不应小于5000mm。

5.5.7 在防火要求较高的场所,有条件时宜选用非油绝缘的电器设备。

1.7.4 高层民用建筑设计的防火要求及措施

《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)(2005版)

规范引用

《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—1995)(2005版)中强制性条文参考1.1节。

9.1.2 高层建筑的消防控制室、消防水泵、消防电梯、防烟排烟风机等的供电,应在最末一级配电箱处设置自动切换装置。

一类高层建筑自备发电设备,应设有自动启动装置,并能在30s内供电。二类高层建筑自备发电设备,当采用自动启动有困难时,可采用手动启动装置。

9.1.3 消防用电设备应采用专用的供电回路,其配电设备应设有明显标志。其配电线路和控制回路宜按防火分区划分。

9.1.4.4 消防用电设备的配电线路宜与其他配电线路分开敷设;当敷设在同一井沟内

时，宜分别布置在井沟的两侧。

9.2.1 高层建筑的下列部位应设置应急照明：

9.2.1.1 楼梯间、防烟楼梯间前室、消防电梯间及其前室、合用前室和避难层(间)。

9.2.1.2 配电室、消防控制室、消防水泵房、防烟排烟机房、供消防用电的蓄电池室、自备发电机房、电话总机房以及发生火灾时仍需坚持工作的其他房间。

9.2.1.3 观众厅、展览厅、多功能厅、餐厅和商业营业厅等人员密集的场所。

9.2.1.4 公共建筑内的疏散走道和居住建筑内走道长度超过 20m 的内走道。

9.2.2 疏散用的应急照明，其地面最低照度不应低于 0.5lx。

消防控制室、消防水泵房、防烟排烟机房、配电室和自备发电机房、电话总机房以及发生火灾时仍需坚持工作的其他房间的应急照明，仍应保证正常照明的照度。

9.2.3 除二类居住建筑外，高层建筑的疏散走道和安全出口处应设灯光疏散指示标志。

9.2.4 疏散应急照明灯宜设在墙面上或顶棚上。安全出口标志宜设在出口的顶部；疏散走道的指示标志宜设在疏散走道及其转角处距地面 100m 以下的墙面上。走道疏散标志灯的间距不应大于 20m。

9.2.5 应急照明灯和灯光疏散指示标志，应设玻璃或其他不燃烧材料制作的保护罩。

9.2.6 应急照明和疏散指示标志，可采用蓄电池作备用电源，且连续供电时间不应少于 20min；高度超过 100m 的高层建筑连续供电时间不应少于 30min。

9.3.1 开关、插座和照明器靠近可燃物时，应采取隔热、散热等保护措施。卤钨灯和超过 100W 的白炽灯泡的吸顶灯、槽灯、嵌入式灯的引入线应采取保护措施。

9.3.2 白炽灯、卤钨灯、荧光高压汞灯、镇流器等不应直接设置在可燃装修材料或可燃构件上。可燃物品库房不应设置卤钨灯等高温照明灯具。

1.8 电力设施抗震设计和措施

1.8.1 一般规定

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用

1.0.2 《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)适用于抗震设防烈度 6 度至 9 度地区的新建、扩建、改建的下列电力设施的抗震设计：

1. 单机容量为 12～1000MW 火力发电厂的电力设施。

2. 单机容量为 10MW 及以上水力发电厂的有关电气设施。

3. 电压等级为 110～750kV 交流输变电工程中的电力设施。

4. 电压等级为±660kV 及以下直流输变电工程中的电力设施。

5. 电力通信微波塔及其基础。

1.0.3 新建、改建和扩建的电力设施必须达到抗震设防要求。

1.0.6 电力设施应根据其抗震的重要性和特点分为重要电力设施和一般电力设施，并应符合下列规定：

1. 符合下列条款之一者为重要电力设施：

1)单机容量为300MW及以上或规划容量为800MW及以上的火力发电厂；

2)停电会造成重要设备严重破坏或危及人身安全的工矿企业的自备电厂；

3)设计容量为750MW及以上的水力发电厂；

4)220kV枢纽变电站，330～750kV变电站，330kV及以上换流站，500～750kV线路大跨越塔，±400kV及以上线路大跨越塔；

5)不得中断的电力系统的通信设施；

6)经主管部(委)批准的，在地震时必须保障正常供电的其他重要电力设施。

2. 除重要电力设施以外的其他电力设施为一般电力设施。

1.0.7 电力设施中的建(构)筑物根据其重要性分为三类，并应符合下列规定：

1. 重要电力设施中发电厂的主要建(构)筑物和输变电工程供电建(构)筑物为重点设防类，简称为乙类。

2. 一般电力设施中的主要建(构)筑物和有连续生产运行设备的建(构)筑物以及公用建(构)筑物、重要材料库为标准设防类，简称为丙类。

3. 乙、丙类以外的次要建(构)筑物为适度设防类，简称为丁类。

1.0.8 电力设施的抗震设防地震动参数或烈度必须按国家规定的权限审批、颁发的文件(图件)确定。

6.1.1 电气设施的抗震设计应符合下列规定：

1. 重要电力设施中的电气设施，当抗震设防烈度为7度及以上时，应进行抗震设计。

2. 一般电力设施中的电气设施，当抗震设防烈度为8度及以上时，应进行抗震设计。

3. 安装在屋内二层及以上和屋外高架平台上的电气设施，当抗震设防烈度为7度及以上时，应进行抗震设计。

6.1.2 电气设备、通信设备应根据设防标准进行选择。对位于高烈度区且不能满足抗震要求或对于抗震安全性和使用功能有较高要求或专门要求的电气设施，可采用隔震或消能减震措施。

1.8.2 电力设施抗震设计方法

1.8.2.1 设计方法

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用

6.2.1 电气设施的抗震设计宜采用下列方法：

1)对于基频高于33Hz的刚性电气设施，可采用静力法。

2)对于以剪切变形为主或近似于单质点体系的电气设施，可采用底部剪力法。

3)除以上款外的电气设施，宜采用振型分解反应谱法。

4)对于特别不规则或有特殊要求的电气设施，可采用时程分析法进行补充抗震设计。

6.2.2 当采用静力设计法进行抗震设计时，地震作用产生的弯矩或剪力可分别按下列公式计算。

1. 地震作用产生的弯矩可按下式计算：

$$M=\frac{a_0 G_{eq}(H_0-h)}{g} \tag{1-11}$$

式中 M——地震作用产生的弯矩(kN·m)；

a_0——设计地震加速度值；

G_{eq}——结构等效总重力荷载代表值(kN)；

H_0——电气设施体系重心高度(m)；

h——计算断面处距底部高度(m)；

g——重力加速度。

2. 地震作用产生的剪力可按下式计算：

$$V=\frac{a_0 G_{eq}}{g} \tag{1-12}$$

式中 V——地震作用产生的剪力(kN)。

6.2.3 当采用底部剪力法进行抗震设计或采用振型分解反应谱法进行抗震设计时，应符合《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)第5章的有关规定。

6.2.4 当采用动力时程分析法进行抗震设计时，可采用实际强震记录或人工合成地震动时程作为地震动输入时程。输入地震动时程不应少于三条，其中至少应有一条人工合成地震动时程。时程的总持续时间不应少于30s，其中强震动部分不应小于6s。计算结果宜取时程法计算结果的包络值和振型分解反应谱法计算结果的较大值。

6.2.5 当需进行竖向地震作用的时程分析时，地面运动最大竖向加速度a_v可取最大水平加速度a_s的65%。

6.2.6 当电气设备有支承结构时，应充分考虑支承结构的动力放大作用；若仅作电气设施本体的抗震设计，则地震输入加速度应乘以支承结构动力反应放大系数，并应符合下列规定：

1. 当支架设计参数确定时，应将支架与电气设施作为一个整体进行抗震设计。

2. 当支架设计参数缺乏时，对于预期安装在室外、室内底层、地下洞内、地下变电站底层地面上或低矮支架上的电气设施，其支架的动力反应放大系数的取值不宜小于1.2，且支架设计应保证其动力反应放大系数不大于所取值。

3. 安装在室内二、三层楼板上的电气设备和电气装置，建筑物的动力反应放大系数应取2.0。对于更高楼层上的电气设备和电气装置，应专门研究。

4. 安装在变压器、电抗器的本体上的部件，动力反应放大系数应取2.0。

6.2.7 电气设施抗震设计地震作用计算应包括体系的总重力(含端子板、金具及导线的重量)、内部压力、端子拉力及0.25倍设计风载等产生的荷载，可不计算地震作用与短路电动力的组合。

1.8.2.2 抗震试验

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用

6.4.1 对新型设备或改型较大的设备，应采取地震模拟振动台试验验证其抗震能力；对由于尺寸、重量或复杂性等原因而不具备整体试验条件的设备，或已经通过试验而又改型不大的设备，可以采用部分试验或试验与分析相结合的方法进行验证。

6.4.2 试件应按照运行条件进行安装，任何仅用于试验的固定或连接设施都不应影响试件的动力性能。

6.4.3 电气设施抗震强度验证试验应分别在两个主轴方向上检验危险断面处的应力值。但对于对称结构的电气设备和电气装置,可只对一个方向进行验证试验。

6.4.4 对横向布置的穿墙套管等大跨度、长悬臂电气设施,宜采用水平和竖向双向同时输入波形进行验证试验。

6.4.5 电气设施抗震强度验证试验的输入波形和加速度值应按下列原则确定:

1. 对于原型电气设备带支架体系和原型电气装置体系的验证试验,振动台输入波形可采用满足《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)第 5.0.5 条规定的地震影响系数曲线的实际强震记录或人工合成地震波;输入的加速度值应按设计采用的烈度及《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)表 5.0.3-1 采用。当仅进行电气设备本体或电气设备和电气装置的部件验证试验时,其幅值应乘以《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)第 6.2.6 条所规定的动力反应放大系数。

2. 当仅进行电气设备本体或电气设备和电气装置的部件验证试验时,振动台输入波形也可采用 5 个正弦共振调幅 5 波组成的正弦拍波(见图 1-34)。

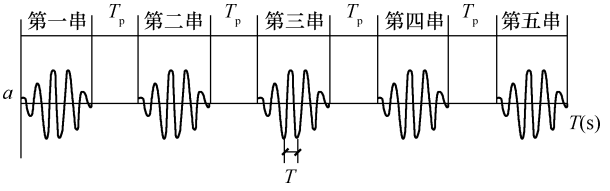


图 1-34 正弦拍波

各拍的加速度时程可按下列规定确定:

当 $t \geqslant 5T$ 时,$a=0$;

当 $0 \leqslant t < 5T$ 时,a 值可按下列公式确定:

$$a = a_s \sin\omega t \cdot \sin\frac{\omega t}{10} \tag{1-13}$$

$$a_s = 0.75 a_0 \tag{1-14}$$

式中 a——各时程的水平加速度(g);

t——时间(s);

T——体系在测试方向的基本自振周期(s);

a_s——时程分析地面运动最大水平加速度(g);

a_0——与设计拟采用烈度对应的地震加速度值(g);

ω——体系在测试方向的基本自振圆频率(Hz)。

为避免各拍地震反应的叠加,各拍间隔可按下式确定:

$$T_p \geqslant \left(\frac{1}{f}\right)\left(\frac{1}{\zeta}\right) \tag{1-15}$$

式中 T_p——拍间间隔(s);

f——体系在测试方向的基本频率(Hz)。

6.4.6 试件的测点布置应根据电气设施的结构形式、试验要求等确定,所有测点的数值应同时记录和采集。

6.4.7 验证试验测得的危险断面应力值,应与重力、内部压力、端子拉力及 0.25 倍设计风载等荷载所产生的应力进行组合,当满足《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)第 6.3.8 条规定时,可确认本型式产品能满足抗震要求。

1.8.2.3 电气设施布置

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用



6.5.1 电气设施布置应根据抗震设防烈度、场地条件和其他环境条件,并结合电气总布置及运行、检修条件,通过技术经济分析确定。

6.5.2 当抗震设防烈度为8度及以上时,电气设施布置宜符合下列要求:

1. 电压为110kV及以上的配电装置形式,不宜采用高型、半高型和双层屋内配电装置。

2. 电压为110kV及以上的管型母线配电装置的管型母线,宜采用悬挂式结构。

3. 电压为110kV及以上的高压设备,当满足《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)第6.4.1条抗震强度验证试验要求时,可按照产品形态要求进行布置。

6.5.3 当抗震设防烈度为8度及以上时,110kV及以上电压等级的电容补偿装置的电容器平台宜采用悬挂式结构。

6.5.4 当抗震设防烈度为8度及以上时,干式空心电抗器不宜采用三相垂直布置。

1.8.2.4 电力通信

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用



6.6.1 重要电力设施的电力通信,必须设有两个及以上相互独立的通信通道,并应组成环形或有迂回回路的通信网络。两个相互独立的通道宜采用不同的通信方式。

6.6.2 一般电力设施的大、中型发电厂和重要变电站的电力通信,应有两个或两个以上相互独立的通信通道,并宜组成环形或有迂回回路的通信网络。

6.6.3 电力通信设备应具有可靠的电源,并应符合下列要求:

1. 重要电力设施的电力通信电源,应由能自动切换的、可靠的双回路交流电源供电,并应设置独立可靠的直流备用电源。

2. 一般电力设施的大型发电厂和重要变电站的电力通信电源,应设置工作电源和直流备用电源。

1.8.2.5 电气设施安装设计的抗震要求

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用



6.7.1 抗震设防烈度为7度及以上的电气设施的安装设计应符合本节要求。

6.7.2 设备引线和设备间连线宜采用软导线,其长度应留有余量。当采用硬母线时,应有软导线或伸缩接头过渡。

6.7.3 电气设备、通信设备和电气装置的安装应牢固可靠。设备和装置的安装螺栓或焊接强度应满足抗震要求。

6.7.4 变压器类安装设计应符合下列要求:

1. 变压器类宜取消滚轮及其轨道,并应固定在基础上。

2. 变压器类本体上的油枕、潜油泵、冷却器及其连接管道等附件以及集中布置的冷却器与本体间连接管道,应符合抗震要求。

3. 变压器类的基础台面宜适当加宽。

6.7.5 旋转电机安装设计应符合下列要求：

1. 安装螺栓和预埋铁件的强度，应符合抗震要求。

2. 在调相机、空气压缩机和柴油发电机附近应设置补偿装置。

6.7.6 断路器、隔离开关、GIS等设备的操作电源或气源的安装设计应符合抗震要求。

6.7.7 蓄电池、电力电容器的安装设计应符合下列要求：

1. 蓄电池安装应装设抗震架。

2. 蓄电池在组架间的连线宜采用软导线或电缆连接，端电池宜采用电缆作为引出线。

3. 电容器应牢固地固定在支架上，电容器引线宜采用软导线。当采用硬母线时，应装设伸缩接头装置。

6.7.8 开关柜(屏)、控制保护屏、通信设备等，应采用螺栓或焊接的固定方式。当设防烈度为8度或9度时，可将几个柜(屏)在重心位置以上连成整体。

1.8.2.6 电气设备的隔震与消能减震设计

《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)

规范引用

6.8.1 应根据电气设备的结构特点、使用要求、自振周期以及场地类别等，选择相适应的隔震与消能减震措施。

6.8.2 隔震与减震措施分别为装设隔震器和减震器。常用的隔震器或减震器包括橡胶阻尼器、阻尼垫和剪弯型、拉压型、剪切型等铅合金减震器以及其他减震装置。

6.8.3 当采用隔震或消能措施时，不应影响电气设备的正常使用功能。

6.8.4 隔震器和消能减震器应满足强度和位移要求。

6.8.5 隔震器或消能减震器宜设置在支架或电气设备与基础、建筑物及构筑物的连接处。

6.8.6 减震设计应根据电气设备结构特点、自振频率、安装地点场地土类别，选择相适应的减震器，并应符合下列要求：

1. 安装减震器的基础或支架的平面应平整，每个减震器受力应均衡。

2. 根据减震器的水平刚度及转动刚度验算电气设备体系的稳定性。

6.8.7 冬季环境温度低于－15℃及以下地区，应选用具有耐低温性能的隔震器或减震器。

6.8.8 在对装设减震器的体系进行抗震分析时，应计入其剪切刚度、弯曲刚度和阻尼比，其弯曲刚度可按制造厂规定的性能要求确定。

2 环境保护与节能

2.1 电气设备对环境的影响及防治措施

2.1.1 电磁

2.1.1.1 一般规定

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



22.1.1 进行建筑群或居住区规划设计时,应考虑已有架空输电线路的无线电骚扰及电磁环境卫生。

22.1.2 用户专用无线通信设备所需频段,应经无线电管理部门批准方可占用。

22.1.3 易受辐射骚扰的电子设备,不应与潜在的电磁骚扰源贴近布置。

2.1.1.2 电磁环境卫生

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



22.2.1 民用建筑物及居住小区与高压、超高压架空输电线路等辐射源之间应保持足够的距离。居住小区靠近高压、超高压架空输电线路一侧的住宅外墙处工频电场和工频磁场强度应符合表 2-1 的规定。

表 2-1 工频电磁场强度限值

场强类别	频率/Hz	单位	容许场强最大值
电场强度	50	kV/m	4.0
磁场强度	50	mT	0.1

22.2.2 民用建筑物、建筑群内不得设置大型电磁辐射发射装置、核辐射装置或电磁辐射较严重的高频电子设备。但医技楼、专业实验室等特殊建筑除外。

22.2.3 医技楼、专业实验室等特殊建筑内必须设置大型电磁辐射发射装置、核辐射装置或电磁辐射较严重的高频电子设备时,应采取屏蔽措施,将其对外界的放射或辐射强度限制在许可范围内。

22.2.4 在医技楼、专业实验室等特殊建筑物内,为科研与医疗专用的核辐射设备和电磁辐射设备,应经国家有关部门认证。

22.2.5 民用建筑物内的电磁环境参数,应符合下列规定:

1. 电磁场强度限值应符合表 2-2 的规定。

表 2-2 电磁场强度限值

频率	单位	容许场强最大值	
		一级	二级
0.1～30MHz	V/m	10	25
30～300MHz	V/m	5	12
300MHz～300GHz	$\mu W/cm^2$	10	40
混合波长	V/m	按主要波段的场强来确定。若各波段场强分布较广,则按复合场强加权值确定	

注:①一级电磁环境:在该电磁环境下长期居住或工作,人员的健康不会受到损害;

②二级电磁环境:在该电磁环境下长期居住或工作,人员的健康可能受到损害。

2. 幼儿园、学校、居住建筑和公共建筑中的人员密集场所宜按一级电磁环境设计;当不符合规定时,应采取有效措施。

3. 公共建筑中的非人员密集场所宜按二级电磁环境设计;当不符合规定时,应采取有效措施,但无人值守的各类机房、车库除外。

2.1.2 谐波

2.1.2.1 谐波的影响

规范引用 《工业与民用配电设计手册》第三版



1.对旋转电动机的影响

旋转电动机定子中的正序和负序谐波电流,分别形成正向和反向旋转磁场,使旋转电动机产生固定数的振动力矩和转速的周期变化,从而使电动机效率降低,发热增加。对于同步电动机的转子,又分别感应出正序和负序谐波电流。由于集肤效应,其主要部分并不是在转子绕组中流动,而是在转子表面形成环流,造成明显局部发热,缩短其使用寿命。

2.对变压器的影响

变压器等电气设备由于过大的谐波电流而产生附加损耗,从而引起过热,使绝缘介质老化加速,导致绝缘损坏。正序和负序谐波电流同样使变压器铁芯产生磁滞伸缩和噪声,电抗器产生振动和噪声。

3.对并联电容器的影响

并联电容器的容性阻抗特性,以及阻抗和频率成反比的特性,使得电容器容易吸收谐波电流而引起过载发热;当其容性阻抗与系统中的感性阻抗相匹配时,容易构成谐波谐振,使电容器发热导致绝缘击穿的故障增多。谐波电压与基波电压峰值发生叠加,使得电容器介质更容易发生局部放电;此外,谐波电压与基波电压叠加时使电压波形增多了起伏,倾向于增多每个周期中局部放电的次数,相应地增加了每个周期中局部放电的功率,而绝缘寿命则

与局部放电功率成反比。

4. 对断路器的影响

谐波电流的发热作用大于有效值相等的工频电流，能降低热元件的发热动作电流。

高次谐波含量较高的电流能使断路器的开断能力降低。当电流的有效值相同时，波形畸变严重的电流与工频正弦波形的电流相比，在电流过零时的 di/dt 可能较大。当存在严重的谐波电流时，某些断路器的磁吹线圈不能正常工作。

5. 对电子设备的影响

使相位控制设备的正常工作因控制信号紊乱而受到干扰，如电子计算机误动作、电子设备误触发、电子元件测试无法进行等。

6. 对继电保护的影响

使某些类型的继电保护，如晶体管整流型距离保护、变压器及母线复合电压保护由于相位变化而误动或拒动。

7. 对通信线路的影响

使通信线路、信息线路产生噪声，甚至造成故障。

8. 其他

消弧线圈是按照所接的局部电网的工频参数来调谐的，对于谐波实际上不起作用。谐波电压使电缆绝缘局部放电增加，对电缆使用寿命有较大影响。大容量高压变压器由谐波造成的涌磁过程能延续数秒或更长的时间，有可能引起谐波过电压，并使有关避雷器的放电时间过长，放电能量过大而受到损坏。三相或单相电压互感器往往由于谐波引起的谐振而导致损坏。谐波电流引起的电气设备及配电线路过载导致短路，甚至引发火灾的事件屡有发生。

2.1.2.2　谐波的防治

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

22.3.1　公共电网的电能质量应符合下列规定：

1. 公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量(方均根值)不应超过表 2-3 的规定。当公共连接点处的最小短路容量与基准短路容量不同时，谐波电流允许值应进行换算。

表 2-3　公共连接点谐波电流允许值

标称电压/kV	基准短路容量/MVA	谐波次数及谐波电流允许值/A																							
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.1	12
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1

2. 同一公共连接点的每个用户，向电网注入的谐波电流允许值，宜按此用户在该点的协议容量与其公共连接点的供电设备容量之比进行分配。

3. 公共连接点的谐波电压(相电压)限值不应超过表 2-4 的规定。

表 2-4 公共连接点的谐波电压(相电压)限值

电网标称电压/kV	电压总谐波畸变率/(%)	各次谐波电压含有率/(%)	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			

22.3.2 供配电系统的谐波治理,应符合下列规定:

1. 建筑物谐波源较多的供配电系统,应选用 Dyn11 接线组别的配电变压器,且该变压器的负载率不宜高于 70%。

2. 省级及以上政府办公建筑,银行总行、分行及金融机构的办公大楼,三级甲等医院的医技楼,大型计算机中心等建筑物,宜在敏感医疗设备、重要计算机网络设备等专用配电干线上设置有源滤波装置。

3. 谐波源较多的一般公共建筑,可在办公设施、计算机网络设备等配电干线上设置滤波装置;当采用无源滤波装置时,应采取措施防止发生系统谐振。

4. 建筑物谐波源较多的供配电系统,当设有有源滤波装置时,相应回路的中性导体截面可不增大。

5. 建筑物谐波源较多的供配电系统,当设有无源滤波装置时,相应回路的中性导体可与相导体等截面。

6. 有大功率谐波骚扰源的馈线上,宜设置滤波装置;或在此类设备的电源输入端设置隔离变压器,且中性导体截面积应为相导体截面的两倍。

7. 音乐厅及影剧院等建筑物中,舞台调光装置宜采取有效的谐波抑制措施;当未采取措施时,其供电线路的中性导体截面积,应为相导体截面积的两倍;音响系统供电专线上宜设置隔离变压器,有条件时宜设有源滤波装置。

8. 为 X 光机、CT 机、核磁共振机等谐波较严重的大功率设备供电的专线,应按低阻抗馈电线路的要求进行设计。

9. 功率因数补偿电容器组宜配电抗器。

规范引用 《工业与民用配电设计手册》第三版



减小谐波影响应对谐波源本身或在其附近采取适当的技术措施,主要措施如表 2-5 所示。实际措施的选择要根据谐波达标的水平、效果、经济性和技术成熟度等综合比较后确定。

表 2-5 减小谐波影响的技术措施

序号	名称	内容	评价
1	增加换流装置的脉动数	改造换流装置或利用相互间有一定移相角的换流变压器	1. 可有效减少谐波含量 2. 换流装置容量应相等 3. 使装置复杂化
2	加装交流滤波装置	在谐波源附近安装若干单调谐或高通滤波支路,以吸收谐波电流	1. 可有效减少谐波含量 2. 应同时考虑无功补偿和电压调整效应 3. 运行维护简单,但需专门设计

续表

序号	名称	内容	评价
3	改变谐波源的配置或工作方式	具有谐波互补性的设备应集中布置，否则应分散或交错使用，适当限制谐波量大的工作方式	1. 可以减小谐波的影响 2. 对装置的配置或工作方式有一定的要求
4	加装串联电抗器	在用户进线处加串联电抗器，以增大和系统的电气距离，减小谐波对地区电网的影响	1. 可减小和系统的谐波相互影响 2. 应同时考虑功率因数补偿和电压调整效应 3. 装置运行维护简单，但需专门设计
5	改善三相不平衡度	从电源电压、线路阻抗、负荷特性等找出三相不平衡原因，加以消除	1. 可有效减少三次谐波的产生 2. 有利于设备的正常用电，减小损耗 3. 有时需要用平衡装置
6	加装静止无功补偿装置（或称动态无功补偿装置）	采用 TCR、TCT 或 SR 型静补装置时，其容性部分设计成滤波器	1. 可有效减少波动谐波源的谐波含量 2. 有抑制电压波动，闪变、三相不对称和无功补偿的功能 3. 一次性投资较大，需专门设计
7	增加系统承受谐波能力	将谐波源改由较大容量的供电点或由高一级电压的电网供电	1. 可以减小谐波源的影响 2. 在规划和设计阶段考虑
8	避免电力电容器组对谐波的放大	改变电容器组对串联电抗器的参数，或将电容器组的某些支路改为滤波器，或限制电容器组的投入容量	1. 可有效减少电容器组对谐波的放大并保证电容器组安全运行 2. 需专门设计
9	提高设备或装置抗谐波干扰能力，概述抗谐波保护的性能	改善设备或装置性能，对谐波敏感设备或装置采用灵敏的保护装置	1. 使用对于谐波（特别是暂态过程中的谐波）较敏感的设备或装置 2. 需专门研究
10	采用有源滤波器、无源滤波器等新型抑制谐波的措施	研制、逐步推广应用	目前还只用于较小容量谐波源的补偿，造价较高

2.2　供配电系统设计的节能措施

2.2.1　变压器节能

规范引用　《钢铁企业电力设计手册》上

6.2.1　变压器的运行特性

变压器的损耗主要有空载损耗和负载损耗两大部分，其次还有介质损耗和杂散负荷损耗。由于介质损耗和杂散负荷损耗其值很小，故可忽略不计。本节主要叙述降低空载损耗

和负载损耗的途径。

降低空载损耗和负载损耗的途径有：

(1)采用优质硅钢片，改进铁芯结构，降低空载损耗。变压器的空载损耗一般约占变压器总损耗的20%～30%。由于空载损耗不随负载变化而变化，因此，虽然所占比例不大，但对长期连续运行而负载较轻的中小型电力变压器而言，降低空载损耗却具有非常重要的意义，故设计制造与选用低损耗电力变压器的主要目的在于降低其空载损耗。

变压器的空载损耗为：

$$P_0 = K_c P_c G_c \tag{2-1}$$

式中 P_0——变压器的空载损耗(W)；

K_c——工艺系数；

P_c——铁芯材料的单位损耗(W/kg)；

G_c——铁芯质量(kg)。

由上式可知，如降低空载损耗 P_0，必须分别降低 K_c、P_c 和 G_c。为此，必须：

1)采用性能优良的冷轧晶粒取向硅钢片，以降低 P_c 和 G_c。

2)改进铁芯结构和制造工艺，降低工艺系数 K_c。

(2)改进绝缘结构，适当减小电流密度，降低负载损耗。变压器的负载损耗约占变压器总损耗的70%～80%，其中最主要的是线圈电阻损耗 I^2R。故可近似认为变压器负载损耗为：

$$P_k = K_m J^2 G_m \tag{2-2}$$

式中 P_k——变压器负载损耗(W)；

K_m——与导电率有关的系数；

J——电流密度(A/mm^2)；

G_m——导线质量(kg)。

由上式可知，要降低负载损耗 P_k，必须分别降低 K_m、J 和 G_m。要想降低负载损耗，既可以在保证变比前提下，适当提高匝间电压以减少高低压线圈匝数，使电流密度 J 与导线质量 G_m 适当降低，还可以从改善绝缘结构缩小绝缘体积、提高填充系数、减小线圈尺寸来达到降低负载损耗的目的。

6.2.2 低损耗电力变压器

低损耗电力变压器，就是选用高导磁的优质冷轧晶粒取向硅钢片和先进工艺制造的新系列节能变压器。具有损耗低、质量轻、效率高、抗冲击等优点。近年来各种系列低损耗电力变压器已得到广泛的应用，在节省电能和运行费方面，已取得显著的经济效果。因此，新建变电所应采用低损耗的节能变压器，对旧有变压器应随机械设备更新，逐步更换或改造，节省电能。

更新变压器必然会带来有功电量和无功电量的节约，但要增加投资。这里存在着一个回收年限问题。变压器不是损坏后才更新，而是老化到一定程度，还有一定剩值时就可以更新。特别是当变压器需要大修时更应考虑更新，这在技术经济上是合理的。

变压器厂家对各种不同型式、不同容量的变压器的使用寿命都有规定(一般为20～30年)，使用单位按这一规定年限提取设备折旧费。随着变压器运行年限的增长，其剩值也越来越小。

变压器的回收年限计算公式如下：

(1)旧变压器使用年限已到期,即折旧费已完,没有剩值,其回收年限计算公式为

$$T_B=\frac{Z_n-G_J-Z_c}{G_d} \tag{2-3}$$

式中 T_B——变压器回收年限(年);

Z_n——新变压器的购价(元);

G_J——旧变压器残存价值,可取原购价的10%;

Z_c——变压器更新后减少电容器的总投资(元);

G_d——每年节约电费(元)。

(2)在(1)的情况下,如变压器需大修时,其回收年限计算公式为

$$T_B=\frac{Z_n-G_{JD}-G_J-Z_c}{G_d} \tag{2-4}$$

式中 G_{JD}——旧变压器大修费(元)。

(3)旧变压器还不到使用期,即还有剩值,其回收年限的计算公式为

$$T_B=\frac{Z_n+W_J-G_J-Z_c}{G_d} \tag{2-5}$$

式中 W_J——旧变压器的剩值(元)。

$$W_J=Z_J-Z_JC_n\%T_y\times10^{-2} \tag{2-6}$$

式中 Z_J——旧变压器的投资(元);

$C_n\%$——折旧率(%);

T_y——运行年限(年)。

(4)在(3)的情况下,如旧变压器需大修时,其回收年限的计算公式为

$$T_B=\frac{Z_n+W_J-G_{JD}-G_J-Z_c}{G_d} \tag{2-7}$$

关于更新变压器的回收年限,一般考虑:当计算的回收年限小于5年时,变压器应立即更新;当计算的回收年限大于10年时,不应当考虑更新;当计算的回收年限为5～10年时,应酌情考虑,并以大修时更新为宜。

6.2.3 变压器的经济运行

在分析计算变压器经济运行时,常用的技术参数有4个:空载电流 I_0、空载损耗 P_0、短路电压 U_k及短路损耗 P_k。P_0与 P_k主要反应变压器的有功功率损耗。而 I_0与 U_k则反应变压器的无功功率消耗,但是要进行换算,其过程如下:

变压器在空载试验时电源侧的视在功率 S_0为

$$S_0=\sqrt{3}I_0U_{1N}=I_0\%S_N\times10^{-2} \tag{2-8}$$

式中 S_0——视在功率(kVA);

I_0——空载电流(A);

U_{1N}——电源侧额定电压(kV);

$I_0\%$——空载电流百分比;

S_N——变压器额定容量(kVA)。

变压器在空载时电源侧的励磁功率(无功功率)Q_0为

$$Q_0=\sqrt{S_0^2-P_0^2} \tag{2-9}$$

式中 Q_0——变压器在空载时的无功功率(kvar);

P_0——变压器的空载损耗(kW)。

变压器在短路试验(额定负载)时所测的视在功率 S_K 为

$$S_K=\sqrt{3}I_{1N}U_k=U_K\%S_N\times10^{-2} \tag{2-10}$$

式中 S_K——变压器在短路试验时的视在功率(kVA);

I_{1N}——电源侧额定电流(A);

U_K——变压器短路电压(kV);

$U_K\%$——短路电压百分比。

变压器额定负载时所消耗的漏磁功率(无功功率)Q_k 为

$$Q_k=\sqrt{S_K^2-P_K^2} \tag{2-11}$$

式中 Q_k——变压器额定负载时的无功功率(kvar);

S_K——变压器在短路试验时的视在功率(kVA);

P_K——变压器的短路损耗(kW)。

在进行变压器经济运行的分析和计算时,为了简化计算,常取

$$Q_0\approx S_0=I_0\%S_N\times10^{-2} \tag{2-12}$$

$$Q_K\approx S_K=U_K\%S_N\times10^{-2} \tag{2-13}$$

用式(2-12)及式(2-13)所求得的 Q_0 与 Q_K,比用式(2-9)及式(2-11)所求得的要大一些,对较大容量的变压器所引起的误差很小,对容量较小的变压器所引起的误差却较大。

6.2.3.1 变压器功率损失的计算

(1)变压器有功功率损失和损失率的负载特性变压器功率损失 ΔP(kW)和损失率 $\Delta P\%$ 的基础计算公式为

$$\Delta P=P_0+\beta^2P_K \tag{2-14}$$

$$\Delta P\%=\frac{\Delta P}{P_1}=\frac{P_0+\beta^2P_K}{\beta S_N\cos\varphi_2+P_0+\beta^2P_K}\times100\% \tag{2-15}$$

变压器效率的表达式为

$$\eta=\frac{P_2}{P_1}=\frac{\beta S_N\cos\varphi_2}{\beta S_N\cos\varphi_2+P_0+\beta^2P_K}\times100\% \tag{2-16}$$

式中 P_1——变压器电源侧输入功率(kW);

P_2——变压器负载侧输出功率(kW);

$\cos\varphi_2$——负载功率因数;

β——负载系数。

负载系数的计算公式为

$$\beta=\frac{I_2}{I_{2N}}=\frac{P_2}{S_N\cos\varphi_2} \tag{2-17}$$

式中 I_1——变压器负载电流(A);

I_{2N}——变压器二次额定电流(A)。

由于损失率 $\Delta P\%$ 的概念与变压器用电单耗一致,因此本章的分析和计算使用损失率,而不用效率。式(2-14)及式(2-15)可绘成如图 2-1 所示的曲线 $\Delta P=f(\beta)$ 及 $\Delta P\%=f(\beta)$。

由图 2-1 的变压器损失率曲线可以看出,当负载系数 β 达到某一数值时,损失率将达到最小值 $\Delta P\%_{min}$。将式(2-15)对 β 取一阶导数,并使之为零,即

$$\frac{d(\Delta P)\%}{d\beta}=0$$

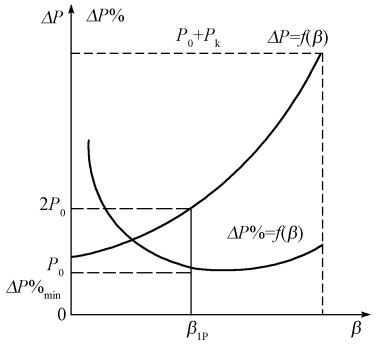


图 2-1　变压器功率损失和损失率的负载特性曲线

则可求出产生最小损失率的条件为

$$P_0=\beta^2 P_K$$

或

$$\beta_{JP}=\sqrt{\frac{P_0}{P_K}} \tag{2-18}$$

式(2-18)说明当铜损等于铁损时，变压器的损失率达到最低，β_{JP}称为有功经济负载系数。所以，当固定变压器运行时，可以通过调负载来降低 $\Delta P\%$。一般变压器的$\frac{P_0}{P_K}\approx\frac{1}{4}\sim\frac{1}{3}$，故最低损失率大体发生在负载系数 $\beta\approx0.5\sim0.6$。

(2)变压器无功功率消耗和消耗率的负载特性。

变压器无功功率消耗 ΔQ 的基础计算式为

$$\Delta Q=Q_0+\beta^2 Q_K \tag{2-19}$$

式中　ΔQ、Q_0和 Q_K的单位都用(kvar)。

为衡量变压器在传输单位有功功率时本身所消耗的无功功率值，在此提出无功消耗率 $\Delta Q\%$的计算式

$$\Delta Q\%=\frac{\Delta Q}{P_1}\times100\% \tag{2-20}$$

或

$$\Delta Q\%=\frac{\Delta Q}{P_2}=\frac{Q_0+\beta^2 Q_K}{\beta S_N\cos\varphi_2}\times100\% \tag{2-21}$$

按要求有 $\Delta Q\%=\frac{\Delta Q}{P_1}$，但在求 $\Delta Q\%$对 β 的导数时，取 $\Delta Q\%=\frac{\Delta Q}{P_2}$。因为这样可简化其运算结果，而所引起的误差又很小。

对式(2-21)求极值，即令其一阶导数为零，即使$\frac{d\Delta Q\%}{d\beta}=0$，得

$$\beta_{JQ}=\sqrt{\frac{Q_0}{Q_K}} \tag{2-22}$$

式中，β_{JQ}是变压器的无功经济负载系数。式(2-22)可写成 $\beta_{JQ}^2 Q_K=Q_0$，即当变压器负载漏磁功率等于空载励磁功率时，其无功消耗率最小。如利用式(2-12)及式(2-13)所求得的 Q_0与 Q_K，可把式(2-22)写成

$$\beta_{jQ}=\sqrt{\frac{S_0}{S_K}}=\sqrt{\frac{I_0\%}{U_K\%}} \tag{2-23}$$

用式(2-22)和用式(2-23)所得的 β_{jQ}相差很小。

同理,由式(2-19)、式(2-21)也可画出图 2-1 那样的曲线 $\Delta Q—f(\beta)$、$\Delta Q\%—f(\beta)$(省略)。对式(2-15)及图 2-1 曲线 $\Delta P\%=f(\beta)$的分析,也完全适用于对式(2-21)$\Delta Q\%=f(\beta)$的分析。由变压器有功损失率的负载特性 $\Delta P\%=f(\beta)$和无功消耗率的负载特性 $\Delta Q\%—f(\beta)$可知,通过合理选择和调整负载可以降低变压器的有功损失率和无功消耗率,使变压器经济运行。

(3)变压器无功功率的经济运行。

由于变压器的变压过程是借助于电磁感应完成的,因此,变压器是一个感性的无功负载。在变压器传输功率的过程中,变压器自身的无功功率消耗远大于有功功率损失,因此在分析计算变压器经济运行时,不仅要考虑有功损失最小,同时也应考虑到无功消耗最小。在变压器经济运行时,无功电量的节约远大于有功电量的节约。所以变压器经济运行不仅能节电,同时也能提高功率因数。

由于变压器是个感性负载,其空载功率因数很低,一般变化范围为 $\cos\varphi_0=0.05\sim0.2$。变压器容量越大,$\cos\varphi_0$越小。

变压器空载功率因数计算式为

$$\cos\varphi_0=\frac{P_0}{S_0}=\frac{P_0}{\sqrt{3}I_0U_{1N}} \tag{2-24}$$

式中 P_0——空载损失(kW);

I_0——空载电流(A);

U_{1N}——变压器电源侧额定电压(kV);

S_0——变压器空载试验时的表观功率(kVA)。

变压器的额定负载功率因数系指在额定负载下变压器自身的功率因数 $\cos\varphi_N$,其计算式为

$$\cos\varphi_N=\frac{\Delta P_N}{\sqrt{\Delta P_N^2+\Delta Q_N^2}}\approx\frac{P_0+P_K}{S_0+S_K} \tag{2-25}$$

一般 $\cos\varphi_N$的变化范围为 0.05～0.3。随着变压器容量的增大,$\cos\varphi_N$下降。

如变压器二次负载功率为 P_2,功率因数为 $\cos\varphi_2$,无功负载为 $Q_2=P_2\operatorname{tg}\varphi_2$,则变压器一次侧功率因数 $\cos\varphi_1$的计算公式为

$$\cos\varphi_1=\frac{P_2+\Delta P}{\sqrt{(P_2+\Delta P)^2+(P_2\operatorname{tg}\varphi_2+\Delta Q)^2}} \tag{2-26}$$

(4)变压器综合功率的经济运行。

在多数情况下,变压器有功功率的经济运行方式和无功功率的经济运行方式是一致的或接近的。但在某些情况下,也会出现矛盾。例如,按有功功率计算变压器 A 优于 B,按无功功率计算变压器 B 优于 A。为了解决这一矛盾,必须综合考虑有功功率及无功功率的计算结果,在此引出综合有功功率损失 ΔP_Z(kW)的两个计算公式,如下所示

$$\Delta P_Z=\Delta P+K_Q\Delta Q \tag{2-27}$$

$$\Delta P_Z=P_{ZO}+\beta^2P_{ZK} \tag{2-28}$$

式中 K_Q——无功经济当量(kW/kvar);

P_{ZO}——空载综合功率损失(kW);

P_{ZK}——额定负载综合功率损失(kW)。

P_{ZO}、P_{ZK}、K_Q的计算公式为

$$K_Q=\frac{\Delta P_0}{\Delta Q} \tag{2-29}$$

$$P_{ZO}=P_0+K_Q Q_0 \tag{2-30}$$

$$P_{ZK}=P_K+K_Q Q_K \tag{2-31}$$

式中 ΔQ——变压器无功功率消耗减少值(kvar)；

ΔP_0——变压器连接系统有功功率损失下降值(kW)。

无功经济当量 K_Q的物理概念是，变压器每减小 1kvar 无功功率消耗时，引起连接系统有功损失下降的 kW 值。所以 K_Q值的大小和变压器在系统中的位置直接相关。无功经济当量值见表 2-6。

综合功率也可写成综合有功损失率 $\Delta P_Z\%$及综合经济负载系数 β_{jZ}的形式

表 2-6 无功经济当量值

序号	变压器在连接系统的位置	K_Q值/(kW/kvar)	
		系统负载最大时	系统负载最小时
1	直接由发电厂母线以发电机电压供电的变压器	0.02	0.02
2	发电厂以发电机电压供电的线路变压器(例如，由厂用和市内发电厂供电的工企变压器)	0.07	0.04
3	由区域线路供电的 110～35kV 降压变压器	0.1	0.06
4	由区域线路供电的 6～10kV 降压变压器	0.15	0.1
5	由区域线路供电的降压变压器，但其无功负荷由同步调相机担负	0.05	0.03

$$\Delta P_Z\%=\frac{\Delta P_Z}{P_2+\Delta P_Z}\times 100\% \tag{2-32}$$

$$\beta_{jZ}=\sqrt{\frac{P_{ZO}}{P_{ZK}}}=\sqrt{\frac{P_0+K_Q Q_0}{P_K+K_Q Q_K}} \tag{2-33}$$

综合功率的分析方法同前。变压器经济运行有三种情况，如果用电单位以节约电量为主，则按有功功率考虑；如果以提高功率因数为主，则按无功功率考虑；如果对两者均无特殊要求，则按综合功率考虑。

6.2.3.2 变压器经济运行的方式

选择变压器的容量及台数时，应根据计算负荷、负荷性质、生产班次等条件进行选择。对负载率很低(正常使用时低于 30%)，而且损失率又很高，通过计算证明是“大马拉小车”的变压器，应予以调整或更换。

根据计算负荷，对重载负荷(80%负载率)通过计算证明不利于经济运行的变压器，可放大一级容量来选择变压器，以降低其负载率和损失率。

向一、二类负荷供电的变压器，当选用两台变压器时，应同时使用，以保证变压器的经济运行。

对采用多台变压器的厂房，其配电系统设计，应根据负荷情况，有切换每台变压器的可能性，通过调整使参数好的变压器在运行状态，让参数差的在备用状态，以实现变压器的经济运行。

对于夜里或节假日里不生产的车间或设备，可把其中不能停电的负荷集中到某一台变压器上，设置专用变压器供电，停用其他变压器，以利节电。

不允许变压器长期空载运行。

在大型厂房或非三班生产的车间,应安装照明专用变压器供电。

2.2.2 供配电系统节能

2.2.2.1 变配电设备的节能

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》上



6.3 变配电设备的节电

变配电设备的节电方法有:

(1)合理设计供电系统和电压等级。根据供电距离和负荷容量,合理地设计供电系统和选择电压,以减少电能损耗。有以下措施:

1)根据企业规模、技术经济比较,考虑线路供电距离,采用35～220kV等级电压,深入厂区负荷中心供电。

自备电厂应布置在厂区负荷中心,以减少配电线路损失。

2)对负荷集中的大型企业轧钢区和大型轧钢厂,应尽量采用35～220kV等级电压供电。

如某钢铁厂的热轧带钢厂采用三路线路变压器组送电方式,电压等级为110/35/6/0.4kV,高压深入负荷中心。随着电力负荷的增大,电压等级尚有提高的趋势。

3)根据技术经济比较,可采用相分裂导线,输送大容量负荷,以减小线路的损耗。

4)配电系统的设置及供配电设备的选择,既要保证长期运行的技术经济台理,又要考虑建设中分批投产的需要。对分期建设期限较长的企业,宜采用多台变压器方案,避免设备轻载运行,增大损耗。

5)厂区的配电电压,根据技术经济比较,采用合理的电压等级进行配电。

6)对具有几个电压等级的供配电系统,在改建或扩建设计中,应减少电压层次,合理地进行升压改造。

7)根据厂矿的负荷性质和容量,正确地选择供配电系统的接线方式,力求简单、可靠和生产管理上的方便。

对负荷容量较大且分散的场所,应深入负荷中心设置变电所,以减小低压配电网路损耗。

(2)提高功率因数,减小电能损耗。提高功率因数的优点有:

1)提高功率因数可减小线路损耗。如果输电线路导线每相电阻为$R(\Omega)$,则三相输电线路的功率损耗为

$$\Delta P = 3I^2R\times10^{-3} = \frac{P^2R}{U^2\cos^2\varphi}\times10^{-3} \tag{2-34}$$

式中 ΔP——相输电线路的功率损耗(kW);

P——电力线路输送的有功功率(kW);

U——线电压(V);

I——线电流(A);

$\cos\varphi$——电力线路输送负荷的功率因数。

由式(2-34)看出，在全厂有功功率一定的情况下，$\cos\varphi$ 越低，功率损耗 ΔP 将越大。设法将 $\cos\varphi$ 提高，就可使 ΔP 减小。

在线路的电压 U 和有功功率 P 不变的情况下，改善前的功率因数为 $\cos\varphi_1$，改善后的功率因数为 $\cos\varphi_2$，则三相回路实际减小的功率损耗可按下式计算

$$\Delta P=\left(\frac{P}{U}\right)^2 R\left(\frac{1}{\cos^2\varphi_1}-\frac{1}{\cos^2\varphi_2}\right)\times 10^{-3} \tag{2-35}$$

2)减小变压器的铜损。变压器的损耗主要有铁损和铜损，如果提高变压器二次侧的功率因数，可使总的负荷电流减小，从而减小铜损。

提高功率因数后，变压器节约的有功功率 ΔP 和节约的无功功率 ΔQ 的计算公式为

$$\Delta P=\left(\frac{P_2}{S_N}\right)^2\left(\frac{1}{\cos^2\varphi_1}-\frac{1}{\cos^2\varphi_2}\right)P_K \tag{2-36}$$

$$\Delta Q=\left(\frac{P_2}{S_N}\right)^2\left(\frac{1}{\cos^2\varphi_1}-\frac{1}{\cos_2\varphi_2}\right)Q_K \tag{2-37}$$

式中　ΔP——变压器的有功功率节约值(kW)；

ΔQ——变压器的无功功率节约值(kvar)；

P_2——变压器负载侧输出功率(kW)；

S_N——变压器额定容量(kVA)；

$\cos\varphi_1$——变压器原负载功率因数；

$\cos\varphi_2$——提高后的变压器负载功率因数；

P_K——变压器的短路损失(kW)；

Q_K——变压器额定负载时的无功功率(kvar)。

2.2.2.2　电动机的节能

《钢铁企业电力设计手册》上

规范引用

6.4.2　电动机的节电方法

减小电动机的电能损耗的主要途径是提高电动机的效率和功率因数。根据国内外资料介绍，电动机的节电有许多有效方法。

(1)采用高效率电动机。目前，国内外有关部门在分析电动机损耗的基础上，采取了各种切实可行的措施，对减小电动机的各部分损耗、提高电动机的效率和功率因数有良好效果。这些减小损耗的措施如图 2-2 所示。

采取各种减小损耗措施后的高效率电动机，其总损耗比普通标准电动机减少 20%～30%。电动机的效率可以比普通的标准型提高 3%～6%。

我国新设计生产的 Y 系列电动机具有效率高、启动转矩大、噪声小、防护性能良好等特点。它的平均效率为 88.263%，比 J02 系列提高了 0.413%，平均启动转矩比 J02 系列增加 25%左右。

然而，最新设计并通过了鉴定的 YZ 系列高效三相异步电动机，其容量等级与 Y 系列电动机相同，但 YZ 系列电动机的加权平均效率较 Y 系列电动机高 3%。

另外，YZR 系列新型电动机，它与 JZR 或 JZR2 系列电动机相比，平均效率高 2%，空载电流小 20%，平均功率因数高 9%，具有较好的节电效果。

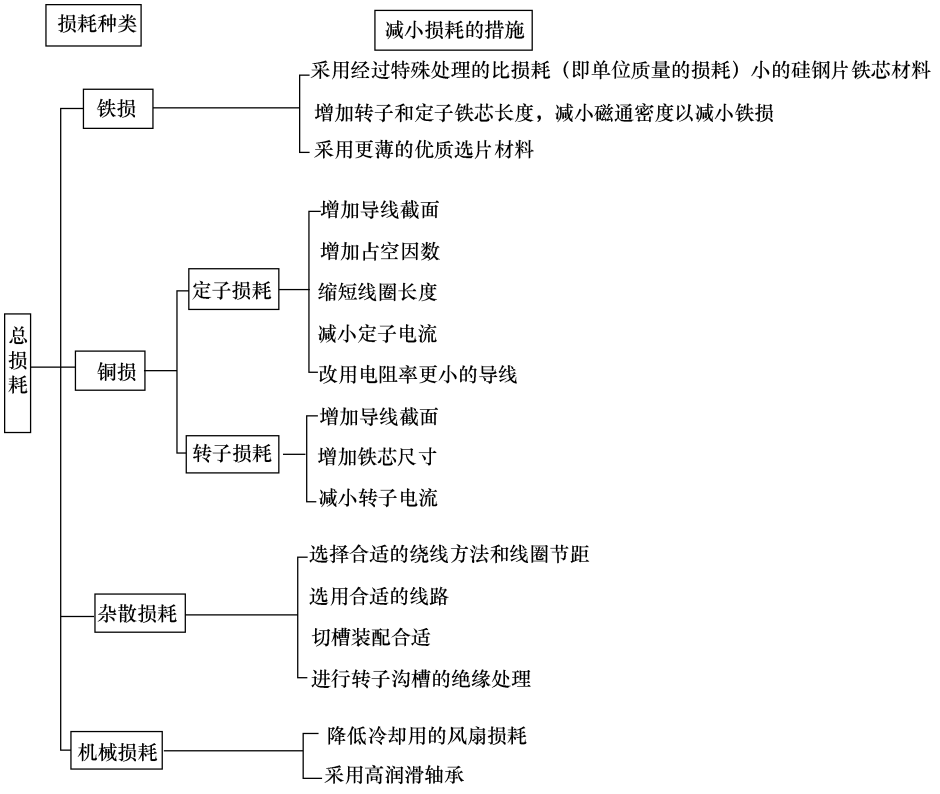


图 2-2 减小电动机损耗的措施

因此，在设计和技术改造中，应选用 Y、YZ、YZR 新系列电动机，以节省电能。

普通高效电动机的价格比一般电动机高 20%～30%，采用时要考虑资金回收期，即在短期内靠节电费用收回多花的费用。一般符合下列条件时可选用普通高效电动机：

1)负载率在 0.6 以上；

2)每年连续运行时间在 3000h 以上；

3)电动机运行时无频繁启、制动(最好是轻载启动，如风机、水泵类负载)；

4)单机容量较大。

2.2.3 照明节能

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

10.6.1 根据视觉工作要求，应采用高光效光源、高效灯具和节能器材，并应考虑最初投资与长期运行的综合经济效益。

10.6.2 一般工作场所宜采用细管径直管荧光灯和紧凑型荧光灯。高大房间和室外场所的一般照明宜采用金属卤化物灯、高压钠灯等高光强气体放电光源。

10.6.3 室内外照明不宜采用普通白炽灯。当有特殊需要时，宜选用双螺旋白炽灯或带有热反射罩的小功率高效卤钨灯。

10.6.4 除有装饰需要外，应选用直射光通比例高、控光性能合理的高效灯具。室内用灯具效率不宜低于 70%，装有遮光格栅时不应低于 60%，室外用灯具效率不宜低于 50%。

10.6.5 灯具的结构和材质应便于维护清洁和更换光源。

10.6.6 应采用功率损耗低、性能稳定的灯用附件。直管形荧光灯应采用节能型镇流器,当使用电感式镇流器时,其能耗应符合现行国家标准《管形荧光灯镇流器能效限定值和节能等级》(GB 17896—2012)的规定。

10.6.7 照明与室内装修设计应有机结合。在确保照明质量的前提下,应有效控制照明功率密度值。

10.6.8 应根据照明场所的功能要求确定照明功率密度值,并应符合现行国家标准《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)的规定。

10.6.9 在有集中空调而且照明容量大的场所,宜采用照明灯具与空调回风口结合的形式。

10.6.10 正确选择照明方案,并应优先采用分区一般照明方式。

10.6.11 室内表面宜采用高反射率的饰面材料。

10.6.12 对于采用节能型电感镇流器的气体放电光源,宜采取分散方式进行无功功率补偿。

10.6.13 应根据环境条件、使用特点合理选择照明控制方式,并应符合下列规定:

1. 应充分利用天然光,并应根据天然光的照度变化控制电气照明的分区;

2. 根据照明使用特点,应采取分区控制灯光或适当增加照明开关点;

3. 公共场所照明、室外照明宜采用集中遥控节能管理方式或采用自动光控装置。

10.6.14 应采用定时开关、调光开关、光电自动控制器等节电开关和照明智能控制系统等管理措施。

10.6.15 低压照明配电系统设计应便于按经济核算单位装表计量。

10.6.16 景观照明宜采取下列节能措施:

1. 景观照明应采用长寿命高光效光源和高效灯具,并宜采取点燃后适当降低电压以延长光源寿命的措施;

2. 景观照明应设置深夜减光控制方案。

2.2.4 照明节能的措施

《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

规范引用

6.2.1 选用的照明光源、镇流器的能效应符合相关能效标准的节能评价值。

6.2.2 照明场所应以用户为单位计量和考核照明用电量。

6.2.3 一般场所不应选用卤钨灯,对商场、博物馆显色要求高的重点照明可采用卤钨灯。

6.2.4 一般照明不应采用荧光高压汞灯。

6.2.5 一般照明在满足照度均匀度条件下,宜选择单灯功率较大、光效较高的光源。

6.2.6 当公共建筑或工业建筑选用单灯功率小于或等于25W的气体放电灯时,除自镇流荧光灯外,其镇流器宜选用谐波含量低的产品。

6.2.7 下列场所宜选用配用感应式自动控制的发光二极管灯:

1. 旅馆、居住建筑及其他公共建筑的走廊、楼梯间、厕所等场所;

2. 地下车库的行车道、停车位;

3. 无人长时间逗留,只进行检查、巡视和短时操作等的工作的场所。

2.3 提高电能质量的措施

2.3.1 电能质量

《工业与民用配电设计手册》第三版

规范引用

电力系统的电能质量是指电压、频率和波形的质量。电能质量主要指标包括:电压偏差、电压波动和闪变、频率偏差、谐波(电压谐波畸变率和谐波电流含有率)和三相电压不平衡度等。此外,本章还写入了电动机启动时的电压下降及有关解决措施。

供电频率偏差允许值为±0.2Hz,电网容量在3000MW以下者为±0.5Hz。频率值通常由系统决定,除特别要求采用不间断供电装置局部稳频外,在配电设计时,一般不必采取稳频措施,故本章不具体讨论。

电压不平衡度及其矫正比较复杂,本章只列设计低压配电系统时常用的矫正措施。

我国直接和工业与民用电气装置有关的系统标称电压为220/380V,10(6)、35、63、110kV等。

2.3.2 供电电压偏差

《工业与民用配电设计手册》第三版

规范引用

五、改善电压偏差的主要措施

1. 合理选择变压器的变比和电压分接头

选择分接头的目的是通过改变变压器的变比,使出现最大负荷时的电压负偏差与出现最小负荷时的电压正偏差得到调整,使之保持在正常合理的范围内,但不能缩小正负偏差之间的范围。

2. 合理减小配电系统阻抗

例如,尽量缩短线路长度,采用电缆代替架空线,加大电缆或导线的截面等。

3. 合理补偿无功功率

(1)调整并联补偿电容器组的接入容量。投入电容器后线路及变压器电压损失减少的数据,可查表2-7,或按以下两式估算:

线路
$$\delta u_1' \approx \Delta Q_C \frac{X_1}{1000U_n^2} \times 100\% \tag{2-38}$$

变压器
$$\Delta U_T' \approx \Delta Q_C \frac{u_T}{S_{rT}}\% \tag{2-39}$$

式中 ΔQ_C——并联电容器的投入容量(kvar);

X_1——线路的电抗(Ω);

U_n——系统标称电压(kV);

S_{rT}——变压器的额定容量(kVA);

u_T——变压器的阻抗电压(%)。

表 2-7 投入电容器后电压损失减少的数据

供电元件	配电变压器						每千米架空线路			每千米电缆线路		
	容量/kVA						电压/kV			电压/kV		
	315	500	630	800	1000	1250	0.38	6	10	0.38	6	10
投入 100kvar 电容器后电压提高值/(%)	1.27	0.8	0.71	0.56	0.45	0.36	28	0.11	0.04	5.5	0.022	0.008
电压提高 1%须投入的电容器容量/kvar	79	125	140	178	222	278	3.6	900	2500	18	4500	12500

注:表中架空线、电缆电压损失的计算参数,架空线的截面采用 10mm²,电缆的截面采用 50mm²时的线路电抗值作依据。

电网电压过高时往往也是电力负荷较低、功率因数偏高的时候,适时减小电容器组投入的容量,能同时起到合理补偿无功功率和调整电压偏差水平的作用。如果采用的是低压电容器,调压效果将更显著,应尽量采用按功率因数或电压水平调整的自动装置。

(2)调整同步电动机的励磁电流。在铭牌规定值的范围内适当调整同步电动机的励磁电流,使其超前或滞后运行,就能产生或消耗无功功率,从而达到改变网络负荷的功率因数和调整电压偏差的目的。

4.尽量使三相负荷平衡

5.改变配电系统运行方式

如切、合联络线或将变压器分、并列运行,借助改变配电系统的阻抗,调整电压偏差。

6.采用有载调压变压器

(1)110kV 及以上电压的降压变电所中的主变压器直接向 10(6)kV 电网送电时,应采用有载调压变压器。

(2)少数用电单位因其负荷曲线特殊或距地区变电所过远等原因,35kV 降压变电所的主变压器,在电压偏差还不能满足电压质量要求时,宜采用有载调压变压器。

(3)10(6)kV 配电变压器不宜采用有载调压变压器,但在当地 10(6)kV 电源电压不能满足要求时,亦可采用 10(6)kV 有载调压变压器。

2.3.3 电压波动和闪变

参考 4.4 节相关内容。

2.3.4 谐波

参考 2.1 节相关内容。

2.3.5 三相不平衡

2.3.5.1 不平衡负荷产生的影响

(1)引起旋转电动机的附加发热和振动,危及其安全运行和正常出力。

(2)引起以负序分量为启动元件的多种保护发生误动作(特别是当电网中同时存在谐波时),这对电网安全运行是有严重威胁的。

(3)电压不平衡使半导体变流设备产生附加的谐波电流(非特征谐波),而这种设备一般设计上只允许2%的电压不平衡度。

(4)电压不平衡使发电机容量利用率下降。由于不平衡时最大相电流不能超过额定值,在极端情况下,只带单相负荷时,设备利用率仅为$UI/\sqrt{3}UI=0.577$。

(5)变压器的三相负荷不平衡,不仅使负荷较大的一相绕组过热导致其寿命缩短,而且还会由于磁路不平衡,大量漏磁通经箱壁、夹件等使其严重发热,造成附加损耗。

(6)在低压配电线路中,三相负荷不平衡会影响计算机正常工作,还会引起照明光源寿命缩短(电压过高)或照度不足(电压过低)以及电视机的损坏等。

(7)三相负荷不平衡时,将引起电网损耗的增加。

(8)使电加热炉的电能消耗增加,产量减少,使炉子的效率降低。

(9)对于通信系统,电力三相不平衡时,会增大对其干扰,影响正常通信质量。

2.3.5.2 降低三相低压配电系统的不平衡度的措施

《工业与民用配电设计手册》第三版

规范引用

为降低三相低压配电系统的不平衡度,设计低压配电系统时常用的措施有:

(1)单相用电设备接入220/380V三相系统时应尽量使三相负荷平衡。

(2)由地区公共低压电网供电的220V照明负荷,若线路电流不超过30A可用单相供电,否则应以220/380V三相四线制供电。

(3)将不对称负荷接到更高的电压等级电网供电,以使连接点的短路容量S_k足够大(例如,对于单相负荷,S_k大于50倍负荷容量时,就能保证连接点的电压不平衡度小于2%)。

(4)采用平衡装置。

2.4 节能型电气产品的选用方法

2.4.1 交流调速系统的分类

常见的交流调速系统有以下方式:调压调速;电磁转差离合器调速;绕线转子异步电动机转子回路串电阻调速;绕线转子异步电动机串级调速;变极调速;变频调速。

从能量转换的角度看,转差功率是否增大,是消耗掉还是得到回收,显然是评价调速系统效率高低的一种标志。从这一点出发,可以把异步电动机的调速系统分成以下三类。

2.4.1.1 转差功率消耗型调速系统

全部转差功率都以转换成热能的形式而消耗掉。调压调速、电磁转差离合器调速、绕线转子异步电动机转子回路串电阻调速这三种调速方法都属于这一类。在异步电动机调速系统中,这类系统的效率最低,但结构最简单,所以还有一定的应用场合。

2.4.1.2 转差功率回馈型调速系统

转差功率的一部分消耗掉,大部分则通过变流装置回馈给电网或者转化为机械能予以

利用。转速越低，回收的功率越多，绕线转子异步电动机串级调速属于这一类。这类调速系统的效率显然比第一类要高，但增加的变流装置总要多消耗一部分功率，因此不及下一类。

2.4.1.3 转差功率不变型调速系统

转差功率中转子铜耗部分的消耗是不可避免的，但在这类系统中，无论转速高低，转差功率的消耗基本不变，因此，效率最高。上述变极调速、变频调速属于此类。其中变极调速只能有级调速，应用场合有局限性，而变频调速可以构成高动态性能的交流无级调速系统，是最有发展前途的。

2.4.2 调速装置的选择

2.4.2.1 选择技术成熟的调速装置

根据国内交流调速装置的科研、生产和使用情况，目前技术成熟并具有一定规模系列化生产能力的交流调速装置有：适配鼠笼型电动机的变极调速装置（双速或多速电动机）、电磁调速电动机、液力耦合器与液体调速离合器、低压中小容量变频调速装置、高－低压中大容量变频调速集成系统；适配绕线型电动机的串级调速装置、双馈电动机、变压和变阻调速装置。对于大功率变频调速装置、无换向器电动机，须进一步开发、系列化和国产化。

2.4.2.2 根据运行参数选择调速装置

以风机泵类负荷为例。调速装置应能满足功率要求、变量规律、调速范围、调速精度、速度稳定性等参数要求。风机泵类变量设备的运行规律，按其流量的变化范围和在每种变量下运行的时间来分类，具体内容见表 2-8。

表 2-8 调速装置的分类

类型	内　容
高变量型	当超过 85％流量时，一些有转差损耗的调速方式（如液力耦合器、电磁调速电动机、变压与变阻调速）的节能效果与入口节流方式相近，只能采用高效调速方式，如变频或串级调速。在 60％～100％变量范围内，上述几种调速方式均可使用
低变量型	以变频方式最佳
全变量型	视其流量和时间选定类型，低流量时间长，可采用变频方式；若高流量时间长，则用变频或串调方式，也可用有转差损耗的调速方式；当流量长时间超过 85％时，就不宜用有转差损耗的调速方式；若流量长时间超过 90％时，只好切换至全速运行，在入口处节流控制
全变量间歇型	变频方式可以较其他调速装置获得较大的节能效果

2.4.2.3 经济效益分析

对于技术成熟且又适宜运行规律的交流调速方式，还要视其投入产出比是否合算。这就要比较不同调速方式的节能效益、运行效率、功率因数、谐波含量和投资的回收期，再进行选择。

调速装置的节电率与调速系统的运行效率有关。变频调速、无换向器电动机、双馈电动机和串级调速效率最高，同属于高效调速方式；而交流整流子电动机、变阻调速、液力耦合器、液粘离合器、电磁调速电动机和变压调速方式，因均有转差损耗而效率较低，尤其是低速时效率更低。这两大类调速方式以有无转差功耗为标志，高效调速方式的节电率要比有转

差功耗的调速方式高出10%～30%。

2.4.2.4 安装维护条件

选择调速方式还应考虑环境温度、湿度、粉尘、燃气、面积及空间等条件。如纺织行业的空调机调速装置和电动机,均应有防护棉花绒措施,或采用密封形式;在有可燃气体的场合,调速装置和电动机应选用防爆式;水泵的调速装置应进行三防处理,电动机最低限应是防滴式;在不允许停歇的场合,调速装置应有切换全速措施,以备调速装置一旦发生故障,及时全速运行,保留节流方式;或采用多运行模式,如变频—工频、串级—变阻—全速节流等,确保生产连续性和安全性。

3 负荷分级与计算

3.1 负荷分级的原则及供电要求

3.1.1 负荷分级

《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)

规范引用



3.0.1 电力负荷应根据对供电可靠性的要求及中断供电在对人身安全、经济损失上所造成的影响程度进行分级,并应符合下列规定。

1. 符合下列情况之一时,应视为一级负荷:

1)中断供电将造成人身伤亡;

2)中断供电将在经济上造成重大损失;

3)中断供电将影响重要用电单位的正常工作。

2. 在一级负荷中,当中断供电将造成重大设备损坏或发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,应视为一级负荷中特别重要的负荷。

3. 符合下列情况之一时,应视为二级负荷:

1)中断供电将在经济上造成较大损失;

2)中断供电将影响较重要用电单位的正常工作。

4. 不属于一级和二级负荷者应为三级负荷。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用



3.2.1 用电负荷应根据供电可靠性及中断供电所造成的损失或影响的程度,分为一级负荷、二级负荷及三级负荷。各级负荷应符合下列规定。

1. 符合下列情况之一时,应为一级负荷:

1)中断供电将造成人身伤亡;

2)中断供电将造成重大影响或重大损失;

3)中断供电将破坏有重大影响的用电单位的正常工作,或造成公共场所秩序严重混乱。例如:重要通信枢纽、重要交通枢纽、重要的经济信息中心、特级或甲级体育建筑、国宾馆、承担重大国事活动的会堂、经常用于重要国际活动的大量人员集中的公共场所等的重要用电

负荷。

在一级负荷中,当中断供电将发生中毒、爆炸和火灾等情况的负荷,以及特别重要场所的不允许中断供电的负荷,应为特别重要的负荷。

2. 符合下列情况之一时,应为二级负荷:

1)中断供电将造成较大影响或损失;

2)中断供电将影响重要用电单位的正常工作或造成公共场所秩序混乱。

3. 不属于一级和二级的用电负荷应为三级负荷。

3.2.2 民用建筑中各类建筑物的主要用电负荷的分级,应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)附录 A(原规范中,下同)的规定。

3.2.3 民用建筑中消防用电的负荷等级,应符合下列规定:

1. 一类高层民用建筑的消防控制室、火灾自动报警及联动控制装置、火灾应急照明及疏散指示标志、防烟及排烟设施、自动灭火系统、消防水泵、消防电梯及其排水泵、电动机的防火卷帘和门窗以及阀门等消防用电应为一级负荷,二类高层民用建筑内的上述消防用电应为二级负荷;

2. 特、甲等剧场,本条 1 款所列的消防用电应为一级负荷,乙、丙等剧场应为二级负荷;

3. 特级体育场馆的应急照明为一级负荷中的特别重要负荷,甲级体育场馆的应急照明应为一级负荷。

3.2.4 当主体建筑中有一级负荷中特别重要负荷时,直接影响其运行的空调用电应为一级负荷;当主体建筑中有大量一级负荷时,直接影响其运行的空调用电应为二级负荷。

3.2.5 重要电信机房的交流电源,其负荷级别应与该建筑工程中最高等级的用电负荷相同。

3.2.6 区域性的生活给水泵房、采暖锅炉房及换热站的用电负荷,应根据工程规模、重要性等因素合理确定负荷等级,且不应低于二级。

3.2.7 有特殊要求的用电负荷,应根据实际情况与有关部门协商确定。

《人民防空地下室设计规范》(GB 50038—2005)

规范引用

7.2.1 电力负荷应分别按平时和战时用电负荷的重要性、供电连续性及中断供电后可能造成的损失或影响程度分为一级负荷、二级负荷和三级负荷。

7.2.2 平时电力负荷分级,除执行《人民防空地下室设计规范》(GB 50038—2005)有关规定外,还应符合地面同类建筑国家现行有关标准的规定。

7.2.3 战时电力负荷分级,应符合下列规定:

1. 一级负荷

1)中断供电将危及人员生命安全;

2)中断供电将严重影响通信、警报的正常工作;

3)不允许中断供电的重要机械、设备;

4)中断供电将造成人员秩序严重混乱或恐慌;

2. 二级负荷

1)中断供电将严重影响医疗救护工程、防空专业队工程、人员掩蔽工程和配套工程的正常工作;

2)中断供电将影响生存环境;

3. 三级负荷

除上述两款规定外的其他电力负荷。

7.2.4　战时常用设备电力负荷分级应符合表 3-1 的规定。

表 3-1　战时常用设备电力负荷分级

工程类别	设备名称	负荷等级
中心医院 急救医院	基本通信设备、应急通信 设备柴油电站配套的附属设备 三种通风方式装置系统 主要医疗救护房间内的设备和照明 应急照明	一级
	重要的风机、水泵 辅助医疗救护房间内的设备和照明 洗消用的电加热淋浴器 医疗救护必需的空调、电热设备 电动防护密闭门、电动密闭门和电动密闭阀门 正常照明	二级
	不属于一级和二级负荷的其他负荷	三级
救护站 防空专业队工程 一等人员掩蔽所	基本通信设备、应急通信设备 柴油电站配套的附属设备 应急照明	一级
	重要的风机、水泵 三种通风方式装置系统 洗消用的电加热淋浴器 完成防空专业队任务必需的用电设备 电动防护密闭门、电动密闭门和电动密闭阀门 正常照明	二级
	不属于一级和二级负荷的其他负荷	三级
二等人员掩蔽所 生产车间 食品站 区域电站 区域供水站	基本通信设备、音响警报接收设备、应急通信设备 柴油电站配套的附属设备 应急照明	一级
	重要的风机、水泵 三种通风方式装置系统 正常照明 洗消用的电加热淋浴器 区域水源的用电设备 电动防护密闭门、电动密闭门和电动密闭阀门	二级
	不属于一级和二级负荷的其他负荷	三级
物资库 汽车库	基本通信设备、应急通信设备 柴油电站配套的跗属设备 应急照明	一级
	重要的风机、水泵 正常照明 电动防护密闭门、电动密闭门和电动密闭阀门	二级
	不属于一级和二级负荷的其他负荷	三级

3.1.2 供电要求

规范引用 《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)



3.0.2 一级负荷应由双重电源供电,当一电源发生故障时,另一电源不应同时受到损坏。

3.0.3 一级负荷中特别重要的负荷供电,应符合下列要求:

1. 除应由双重电源供电外,还应增设应急电源,并不得将其他负荷接入应急供电系统。

2. 设备的供电电源的切换时间,应满足设备允许中断供电的要求。

3.0.4 下列电源可作为应急电源:

1. 独立于正常电源的发电机组。

2. 供电网络中独立于正常电源的专用的馈电线路。

3. 蓄电池。

4. 干电池。

3.0.5 应急电源应根据允许中断供电的时间选择,并应符合下列规定:

1. 允许中断供电时间为15s以上的供电,可选用快速自启动的发电机组。

2. 自投装置的动作时间能满足允许中断供电时间的,可选用带有自动投入装置的独立于正常电源之外的专用馈电线路。

3. 允许中断供电时间为毫秒级的供电,可选用蓄电池静止型不间断供电装置或柴油机不间断供电装置。

3.0.6 应急电源的供电时间,应按生产技术上要求的允许停车过程时间确定。

3.0.7 二级负荷的供电系统,宜由两回线路供电。在负荷较小或地区供电条件困难时,二级负荷可由一回6kV及以上专用的架空线路供电。

3.0.8 各级负荷的备用电源设置可根据用电需要确定,备用电源必须与应急电源隔离。

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



3.2.8 一级负荷应由两个电源供电,当一个电源发生故障时,另一个电源不应同时受到损坏。

3.2.9 对于一级负荷中的特别重要负荷,应增设应急电源,并严禁将其他负荷接入应急供电系统。

3.2.10 二级负荷的供电系统,宜由两回线路供电。在负荷较小或地区供电条件困难时,二级负荷可由一回路6kV及以上专用的架空线路或电缆供电。当采用架空线时,可为一回路架空线供电;当采用电缆线路时,应采用两根电缆组成的线路供电,且每根电缆应能承受100%的二级负荷。

3.2.11 三级负荷可按约定供电。

3.3.1 电源及供配电系统设计,应符合下列规定:

1. 10(6)kV供电线路宜深入负荷中心。根据负荷容量和分布,宜使配变电所及变压器靠近建筑物用电负荷中心。

2. 同时供电的两路及以上供配电线路中，其中一路中断供电时，其余线路应能满足全部一级负荷及二级负荷的供电要求。

3. 在设计供配电系统时，除一级负荷中的特别重要负荷外，不应按一个电源系统检修或发生故障的同时，另一电源又发生故障进行设计。

4. 当符合下列条件之一时，用电单位宜设置自备电源：

1)一级负荷中含有特别重要负荷；

2)设置自备电源比从电力系统取得第二电源经济合理或第二电源不能满足一级负荷要求；

3)所在地区偏僻且远离电力系统，设置自备电源作为主电源经济合理。

5. 需要两回电源线路的用电单位，宜采用同级电压供电。根据各级负荷的不同需要及地区供电条件，也可采用不同电压供电。

6. 10(6)kV 系统的配电级数不宜多于两级。

7. 10(6)kV 配电系统宜采用放射式。根据变压器的容量、分布及地理环境等情况，亦可采用树干式或环式。

3.3.2　应急电源与正常电源之间必须采取防止并列运行的措施。

3.3.3　下列电源可作为应急电源：

1. 供电网络中独立于正常电源的专用馈电线路；

2. 独立于正常电源的发电机组；

3. 蓄电池。

3.3.4　根据允许中断供电的时间，可分别选择下列应急电源：

1. 快速自动启动的应急发电机组，适用于允许中断供电时间为 15～30s 的供电；

2. 带有自动投入装置的独立于正常电源的专用馈电线路，适用于允许中断供电时间大于电源切换时间的供电；

3. 不间断电源装置(UPS)，适用于要求连续供电或允许中断供电时间为毫秒级的供电；

4. 应急电源装置(EPS)，适用于允许中断供电时间为毫秒级的应急照明供电。

3.3.5　住宅(小区)的供配电系统，宜符合下列规定：

1. 住宅(小区)的 10(6)kV 供电系统宜采用环网方式；

2. 高层住宅宜在底层或地下一层设置 10(6)/0.4kV 户内变电所或预装式变电站；

3. 多层住宅小区、别墅群宜分区设置 10(6)/0.4kV 预装式变电站。

3.2　负荷计算的方法

3.2.1　基本概念

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

3.5.1　负荷计算应包括下列内容和用途：

1. 负荷计算，可作为按发热条件选择变压器、导体及电器的依据，并用来计算电压损失和功率损耗，也可作为电能消耗及无功功率补偿的计算依据；

2. 尖峰电流,可用于校验电压波动和选择保护电器;

3. 一级、二级负荷,可用于确定备用电源或应急电源及其容量;

4. 季节性负荷,可以确定变压器的容量和台数及经济运行方式。

3.5.2 方案设计阶段可采用单位指标法;初步设计及施工图设计阶段,宜采用需要系数法。

3.5.3 当消防设备的计算负荷大于火灾时切除的非消防设备的计算负荷时,应按消防设备的计算负荷加上火灾时未切除的非消防设备的计算负荷进行计算。

当消防设备的计算负荷小于火灾时切除的非消防设备的计算负荷时,可不计入消防负荷。

3.5.4 应急发电机的负荷计算应满足下列要求:

1. 当应急发电机仅为一级负荷中特别重要负荷供电时,应以一级负荷中特别重要负荷的计算容量,作为选用应急发电机容量的依据;

2. 当应急发电机为消防用电设备及一级负荷供电时,应将两者计算负荷之和作为选用应急发电机容量的依据;

3. 当自备发电机作为第二电源,且还有第三电源为一级负荷中特别重要负荷供电时,以及当向消防负荷、非消防一级负荷及一级负荷中特别重要负荷供电时,应以三者的计算负荷之和作为选用自备发电机容量的依据。

3.5.5 单相负荷应均衡分配到三相上,当单相负荷的总计算容量小于计算范围内三相对称负荷总计算容量的15%时,应全部按三相对称负荷计算;当超过15%时,应将单相负荷换算为等效三相负荷,再与三相负荷相加。

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(1)计算负荷又称需要负荷或最大负荷。计算负荷是一个假想的持续性负荷,其热效应与同一时间内实际变动负荷所产生的最大热效应相等。在配电设计中,通常采用30min的最大平均负荷作为按发热条件选择电器或导体的依据。

(2)尖峰电流指单台或多台用电设备持续1s左右的最大负荷电流。一般取启动电流的周期分量作为计算电压损失、电压波动和电压下降以及选择电器和保护元件等的依据。在校验瞬动元件时,还应考虑启动电流的非周期分量。

(3)平均负荷为某段时间内用电设备所消耗的电能与该段时间之比。常选用最大负荷班(即有代表性的一昼夜内电能消耗量最多的一个班)的平均负荷,有时也计算年平均负荷。平均负荷用来计算最大负荷和电能消耗量。

3.2.2 计算方法

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

负荷计算的方法有需要系数法、利用系数法、单位指标法等几种。

(1)需要系数法。用设备功率乘以需要系数和同时系数,直接求出计算负荷。这种方法比较简便,应用广泛,尤其适用于配、变电所的负荷计算。

(2)利用系数法。采用利用系数求出最大负荷班的平均负荷,再考虑设备台数和功率差

异的影响，乘以与有效台数有关的最大系数得出计算负荷。这种方法的理论根据是概率论和数理统计，因而计算结果比较接近实际。适用于各种范围的负荷计算，但计算过程稍繁。

(3)单位面积功率法、单位指标法和单位产品耗电量法。前两者多用于民用建筑，后者适用于某些工业建筑。在用电设备功率和台数无法确定时，或者设计前期，这些方法是确定设备负荷的主要方法。

(4)除采用以上的方法外，还有二项式法以及近年国内出现的 ABC 法、变值需要系数法等。这些方法有的已被其他方法代替，有的是利用系数法的简化，还有的实用数据不多，未能推广，故不在此介绍。

单位面积功率法、单位指标法和单位产品耗电量法多用于设计的前期计算，如可行性研究和方案设计阶段；需要系数法、利用系数法多用于初步设计和施工图设计。

3.2.3　设备功率

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

进行负荷计算时，需将用电设备按其性质分为不同的用电设备组，然后确定设备功率。

用电设备的额定功率 P_r 或额定容量 S_r 是指铭牌上的数据。对于不同负载持续率下的额定功率或额定容量，应换算为统一负载持续率下的有功功率，即设备功率 P_e。

1. 单台用电设备的设备功率

(1)连续工作制电动机的设备功率等于额定功率。

(2)短时或周期工作制电动机(如起重机用电动机等)的设备功率是指将额定功率换算为统一负载持续率下的有功功率。

当采用需要系数法计算负荷时，应统一换算到负载持续率 ε 为 25% 下的有功功率

$$P_c = P_r \sqrt{\frac{\varepsilon_r}{0.25}} = 2P_r \sqrt{\varepsilon_r}\,(\mathrm{kW}) \tag{3-1}$$

当采用利用系数法计算负荷时，应统一换算到负载持续率 ε 为 100% 下的有功功率

$$P_c = P_r \sqrt{\varepsilon_r}\,(\mathrm{kW}) \tag{3-2}$$

上两式中　P_r——电动机额定功率(kW)；

ε——电动机额定负载持续率。

(3)电焊机的设备功率是将额定容量换算到负载持续率 ε 为 100% 时的有功功率

$$P_c = S_r \sqrt{\varepsilon_r} \cos\varphi\,(\mathrm{kW}) \tag{3-3}$$

式中　S_r——电炉变压器的额定容量(kVA)；

$\cos\varphi$——电炉变压器的额定功率因数。

(4)电炉变压器的设备功率是指额定功率因数时的有功功率

$$P_c = S_r \cos\varphi_r\,(\mathrm{kW}) \tag{3-4}$$

式中　S_τ——电炉变压器的额定容量(kVA)；

$\cos\varphi_\tau$——电炉变压器的额定功率因数。

(5)整流变压器的设备功率是指额定直流功率。

(6)白炽灯和卤钨灯的设备功率为灯泡额定功率。气体放电灯的设备功率为灯管额定功率加镇流器的功率损耗(荧光灯采用普通型电感镇流器加 25%，采用节能型电感镇流器加

15%～18%,采用电子镇流器加10%;金属卤化物灯、高压钠灯、荧光高压汞灯用普通电感镇流器时加14%～16%,用节能型电感镇流器时加9%～10%)。

2.用电设备组的设备功率

用电设备组的设备功率是指不包括备用设备在内的所有单个用电设备的设备功率之和。

3.变电所或建筑物的总设备功率

变电所或建筑物的总设备功率应取所供电的各用电设备组设备功率之和,但应剔除不同时使用的负荷,例如:

(1)消防设备容量一般可不计入总设备容量;

(2)季节性用电设备(如制冷设备和采暖设备)应择其最大者计入总设备容量。

4.柴油发电机的负荷统计

(1)当柴油发电机仅作为消防、保安性质用电设备的应急电源时,用电负荷应计算消防泵(含消火栓泵、喷淋泵、消防加压泵和排水泵)、消防电梯、防排烟设备、消防控制设备、安防设备、电视监控设备、应急照明等设备的功率。

(2)当采用柴油发电机作为备用电源时,除计算保安性质负荷的用电设备外,根据用电负荷的性质和需要,还应计算所带其他负荷的设备功率。

由于发生火灾时,可停掉除保安性质负荷用电设备以外的非消防用电设备的电源,而非消防状态下消防设备又不投入运行,二者不同时使用,所以应取其大者作为确定发电机组容量的依据。

(3)民用建筑设计中,在方案和初步设计阶段可按供电变压器容量的10%～20%估算柴油发电机容量。

3.2.4 需要系数法确定计算负荷

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(1)用电设备组的计算负荷:

有功功率 P_c $$P_c=K_xP_e(\text{kW})$$ (3-5)

无功功率 Q_c $$Q_c=P_c\,\text{tg}\varphi(\text{kvar})$$ (3-6)

视在功率 S_c $$S_c=\sqrt{P_c^2+Q_c^2}(\text{kVA})$$ (3-7)

计算电流 I_c $$I_c=\frac{S_c}{\sqrt{3}U_r}(\text{A})$$ (3-8)

(2)配电干线或车间变电所的计算负荷:

有功功率 P_c $$P_c=K_{\Sigma p}\sum(K_xP_e)(\text{kW})$$ (3-9)

无功功率 Q_c $$Q_c=K_{\Sigma q}\sum(K_xP_e\text{tg}\varphi)(\text{kvar})$$ (3-10)

视在功率 S_c $$S_c=\sqrt{P_c^2+Q_c^2}(\text{kVA})$$ (3-11)

以上各式中 P_e——用电设备组的设备功率(kW);

K_x——需要系数;

$\text{tg}\varphi$——用电设备功率因数角相对应的正切值;

$K_{\Sigma p}$、$K_{\Sigma q}$——有功功率、无功功率同时系数,分别取0.8～1.0和0.93～1.0;

U_r——用电设备额定电压(线电压)(kV)。

(3)配电所或总降压变电所的计算负荷,为各车间变电所计算负荷之和再乘以同时系数 $K_{\Sigma p}$ 和 $K_{\Sigma q}$。对配电所的 $K_{\Sigma p}$ 和 $K_{\Sigma q}$,分别取 0.85～1 和 0.95～1;对总降压变电所的 $K_{\Sigma p}$ 和 $K_{\Sigma q}$,分别取 0.8～0.9 和 0.93～0.97。

当简化计算时,同时系数 $K_{\Sigma p}$ 和 $K_{\Sigma q}$ 可都取 $K_{\Sigma p}$ 值。

(4)对于台数较少(4 台及以下)的用电设备。3 台及 2 台用电设备的计算负荷,取各设备功率之和;4 台用电设备的计算负荷,取设备功率之和乘以 0.9 的系数。

(5)自备柴油发电机组的计算负荷也可按上述方法进行计算。简化计算时,消防负荷的需要系数可取为 1。

3.2.5　利用系数法确定计算负荷

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)



用利用系数法确定计算负荷时,不论计算范围大小,都必须求出该计算范围内用电设备的有效台数及最大系数,然后算出结果。

(1)用电设备组在最大负荷班内的平均负荷:

有功功率 P_{av}　　$P_{av}=K_1P_e$(kW)　　(3-12)

无功功率 Q_{av}　　$Q_{av}=P_{av}\mathrm{tg}\varphi$(kvar)　　(3-13)

式中　P_e——用电设备组的设备功率(kW);

K_1——用电设备组在最大负荷班内的利用系数;

$\mathrm{tg}\varphi$——用电设备组的功率因数角对应的正切值。

(2)平均利用系数 K_{1av} 为

$$K_{lav}=\frac{\sum P_{av}}{\sum P_e} \tag{3-14}$$

式中　$\sum P_{av}$——各用电设备组平均负荷的有功功率之和(kW);

$\sum P_e$——各用电设备组的设备功率之和(kW)。

(3)用电设备的有效台数 n_{yx} 是将不同设备功率和工作制的用电设备台数换算为相同设备功率和工作制的等效值,故

$$n_{yx}=\frac{(\sum P_e)^2}{\sum P_{le}^2} \tag{3-15}$$

式中　P_{le}——单个用电设备的设备功率(kW)。

如果设备台数较多,还可用误差不超过±10%的下列简化方法计算。

1)当有效台数为 4 台及以上,且最大一台设备功率 $P_{1e\cdot max}$ 与最小一台设备功率 $P_{1e\cdot min}$ 的比值 $m\leqslant 3$ 时,取

$$n_{yx}=n \tag{3-16}$$

在确定 n_{yx} 值时,可将组内总功率不超过全组总设备功率 5%的一些最小用电设备略去。

2)当 $m>3$ 和 $i_{lav}\geqslant 0.2$ 时,取

$$n_{yx}=\frac{\sum P_e}{0.5P_{1e\cdot max}} \tag{3-17}$$

如按上式求得的 n_{yx} 比实际台数还多,则取 $n_{yx}=n$。

3)当 $m>3$ 和 $K_{lav}<0.2$ 时.取

$$n_{yx}=n'_{yx}n\approx\frac{0.95(\sum P_e)^2}{\frac{(P_{n1})}{n_1}+\frac{(\sum P_e+P_{n1})^2}{n-n_1}} \tag{3-18}$$

$$n_{yx}=\frac{n_{yx}}{n}\approx\frac{0.95}{\frac{(P')^2}{n'}+\frac{(1-P')^2}{1-n'}} \tag{3-19}$$

$$n'=\frac{n_1}{n}\quad P'=\frac{P_{n1}}{\sum P_e} \tag{3-20}$$

以上式中 n——用电设备台数;

n_1——用电设备中,单台设备功率不小于最大一台设备功率一半的台数;

n'——n_1 台数的相对值;

$\sum P_e$——各用电设备组的设备功率之和(kW);

P_{n1}——n_1 台设备的总设备功率(kW);

P'——P_{n1} 功率的相对值;

n'_{yx}——有效台数相对值,可根据相对值 n' 和 P' 确定。

(4)计算负荷:

有功功率 P_c $$P_c=K_m\sum P_{av}(\text{kW})$$ (3-21)

无功功率 Q_c $$Q_c=K_m\sum Q_{av}(\text{kvar})$$ (3-22)

视在功率 S_c $$S_c=\sqrt{P_c^2+Q_c^2}(\text{kVA})$$ (3-23)

计算电流 I_c $$I_c=\frac{S_c}{\sqrt{3}U_r}(\text{A})$$ (3-24)

以上式中 U_r——额定电压(kV);

K_m——最大系数,对于中小截面导线,可根据有效台数 n_{yx} 和平均利用系数 K_{lav} 确定,对于变电所低压母线或大截面干线来说,其发热时间常数 $\tau\geqslant$ 20min。达到稳定温升的持续时间 t 按指数曲线约为 3τ 确定,即 $t\geqslant$1h。

当 $\tau>0.5$h 时,最大系数 $K_{m(t)}$ 按下式换算

$$K_{m(t)}\leqslant 1+\frac{K_m-1}{\sqrt{2}t} \tag{3-25}$$

3 台及以下用电设备的计算有功功率取设备功率总和。

3 台以上用电设备,有效台数小于 4 时,计算有功功率取设备功率总和,再乘以系数 0.9。

3.2.6 单位面积功率法和单位指标法确定计算负荷

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(1)单位面积功率(或负荷密度)法

单位面积法计算有功功率 P_c 的公式为

$$P_c=\frac{P'_eS}{1000}\text{kW} \tag{3-26}$$

式中 P'_e——单位面积功率(负荷密度)(W/m²);

S——建筑面积(m^2)。

(2)单位指标法

单位指标法计算有功功率 P_c 的公式为

$$P_c=\frac{P'_eN}{1000}\text{kW} \tag{3-27}$$

式中　P'_e——单位用电指标，如 W/户、W/人、W/床；

N——单位数量，如户数、人数、床位数；

应用以上方法计算负荷时，还应结合工程具体情况，乘以不同的同时系数。

我国各地建成的部分旅游宾馆，其配电变压器装设容量为 80～100VA/m^2。在设计中估算负荷时，可按 2000～2400W/床计算。

3.2.7　单相负荷计算

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)



(1)计算原则。

1)单相负荷与三相负荷同时存在时，应将单相负荷换算为等效三相负荷再与三相负荷相加。

2)在进行单相负荷换算时，一般采用计算功率。对需要系数法，计算功率即为需要功率；对利用系数法，计算功率为平均功率。当单相负荷均为同类用电负荷时，可直接采用设备功率计算。

本节所称单相负荷，在各个具体情况下分别代表需要功率、平均功率或设备功率。此外，单相用电设备接于线电压或相电压时的负荷，相应地称为线间负荷和相负荷。

(2)单相负荷换算为等效三相负荷的一般方法。

对于既有线间负荷又有相负荷的情况，计算步骤如下。

1)将线间负荷换算为相负荷，各相负荷分别为：

U 相
$$P_U=P_{UV}p_{(UV)U}+P_{WU}p_{(WU)U}\text{(kW)} \tag{3-28}$$
$$Q_U=P_{UV}q_{(UV)U}+P_{WU}q_{(WU)U}\text{(kvar)} \tag{3-29}$$

V 相
$$P_V=P_{UV}p_{(UV)V}+P_{VW}p_{(VW)V}\text{(kW)} \tag{3-30}$$
$$Q_V=P_{UV}q_{(UV)V}+P_{VW}q_{(VW)V}\text{(kvar)} \tag{3-31}$$

W 相
$$P_W=P_{VW}p_{(VW)W}+P_{WU}p_{(WU)W}\text{(kW)} \tag{3-32}$$
$$Q_W=P_{VW}q_{(VW)W}+P_{WU}q_{(WU)W}\text{(kvar)} \tag{3-33}$$

以上式中　P_{UV}、P_{VW}、P_{WU}——接于 UV、VW、WU 线间负荷(kW)；

P_U、P_V、P_W——换算为 U、V、W 相有功负荷(kW)；

Q_U、Q_V、Q_W——换算为 U、V、W 相无功负荷(kvar)；

$p_{(UV)U}$、$q_{(UV)U}$……——接于 UV 线间负荷换算为 U 相负荷的有功及无功换算系数，其他类推。

2)各相负荷分别相加，选出最大相负荷，取其 3 倍作为等效三相负荷。

(3)单相负荷换算为等效三相负荷的简化方法。

1)只有线间负荷时，将各线间负荷相加，选取较大两项数据进行计算。现以 $P_{UV}\geqslant P_{VW}\geqslant P_{WU}$ 为例计算等效三相负荷 P_d

$$P_d=\sqrt{3}P_{UV}+(3-\sqrt{3})P_{VW}=1.73P_{UV}+1.27P_{VW}(kW) \tag{3-34}$$

当 $P_{UV}=P_{VW}$ 时
$$P_d=3P_{UV}(kW) \tag{3-35}$$

当只有 P_{UV} 时
$$P_d=\sqrt{3}P_{UV}(kW) \tag{3-36}$$

以上式中 P_{UV}、P_{VW}、P_{WU}——接于 UV、VW、WU 线间负荷(kW)。

2)只有相负荷时,等效三相负荷取最大相负荷的 3 倍。

3)当多台单相用电设备的设备功率小于计算范围内三相负荷设备功率的 15%时,按三相平衡负荷计算,可不换算。

3.2.8 尖峰电流的确定

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

对于不同性质的负荷,其尖峰电流的计算公式是不同的。

(1)单台电动机、电弧炉或电焊变压器的支线,其尖峰电流 I_{jf} 为

$$I_{jf}=KI_r(A) \tag{3-37}$$

式中 I_r——电动机、电弧炉或电焊变压器一次侧额定电流(A);

K——启动电流倍数,即启动电流与额定电流之比,笼型电动机可达 7 倍左右,绕线转子电动机一般不大于 2 倍,直流电动机为 1.5～2,单台电弧炉为 3,弧焊变压器和弧焊整流器为小于或等于 2.1,电阻焊机为 1,闪光对焊机为 2。

(2)接有多台电动机的配电线路,只考虑一台电动机启动时的尖峰电流 I_{jf} 为

$$I_{jf}=(KI_r)_{max}+I'_c(A) \tag{3-38}$$

式中 $(KI_r)_{max}$——启动电流为最大的一台电动机的启动电流(A);

I'_c——除启动电动机以外的配电线路计算电流(A)。

两台及以上设备的电动机有可能同时启动时,尖峰电流根据实际情况确定。

(3)对于自启动的一组电动机,其尖峰电流为所有参与自启动的电动机的启动电流之和。计算自启动电流时应考虑母线电压降低的因素。

3.2.9 企业年电能消耗量计算

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(1)用年平均负荷来确定。企业年电能消耗量用年平均负荷和实际工作小时数计算,当已知企业的计算有功功率 P_c 及计算无功功率 Q 后,企业的年有功 W 及无功电能 W_{ry} 消耗量可按下式确定

$$W_y=\alpha_{av}PT_n(kWh) \tag{3-39}$$

$$W_{rn}=\beta_{av}QT_n(kvarh) \tag{3-40}$$

式中 α_{av}、β_{av}——年平均有功、无功负荷系数,应采用同类型企业的多年累积的统计数据,当缺乏此数据时,作为估算 α_{av} 值一般取 0.7～0.75,β_{av} 值取 0.76～0.82;

T_n——年实际工作小时数,一班制可取 1860h,二班制可取 3720h,三班制可取 5580h。

(2)单位产品耗电量法。根据企业年产量的定额(m)和单位产品耗电量(ω)来确定:

企业年有功电能量 $W_y=\omega \cdot M(\mathrm{kWh})$ (3-41)

式中 ω——单位产品耗电量，kWh/单位产品，由工艺设计提供或参考现有积累资料；

m——产品年产量(单位应与 w 中的单位产品一致)。

企业年无功电能量 $W_{ry}=W_y \operatorname{tg}\varphi(\mathrm{kvarh})$ (3-42)

式中，$\operatorname{tg}\varphi$ 为企业年平均功率因数角的正切值，若考虑补偿后的年平均功率因数 $\cos\varphi=0.85\sim0.95$，则相应的 $\operatorname{tg}\varphi=0.62\sim0.33$。

4 10kV及以下供配电系统

4.1 供配电系统电压等级选择的原则

4.1.1 高压供配电系统

规范引用 《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)



4.0.1 符合下列条件之一时,用户宜设置自备电源:

1)需要设置自备电源作为一级负荷中的特别重要负荷的应急电源时或第二电源不能满足一级负荷的条件时。

2)设置自备电源比从电力系统取得第二电源经济合理时。

3)有常年稳定余热、压差、废弃物可供发电,技术可靠、经济合理时。

4)所在地区偏僻,远离电力系统,设置自备电源经济合理时。

5)有设置分布式电源的条件,能源利用效率高、经济合理时。

4.0.2 应急电源与正常电源之间,应采取防止并列运行的措施。当有特殊要求,应急电源向正常电源转换需短暂并列运行时,应采取安全运行的措施。

4.0.3 供配电系统的设计,除一级负荷中的特别重要负荷外,不应按一个电源系统检修或故障的同时另一电源又发生故障进行设计。

4.0.4 需要两回电源线路的用户,宜采用同级电压供电。但根据各级负荷的不同需要及地区供电条件,亦可采用不同电压供电。

4.0.5 同时供电的两回及以上供配电线路中,当有一回路中断供电时,其余线路应能满足全部一级负荷及二级负荷。

4.0.6 供配电系统应简单可靠,同一电压等级的配电级数高压不宜多于两级;低压不宜多于三级。

4.0.7 高压配电系统宜采用放射式。根据变压器的容量、分布及地理环境等情况,亦可采用树干式或环式。

4.0.8 根据负荷的容量和分布,配变电所应靠近负荷中心。当配电电压为35kV时,亦可采用直降至低压配电电压。

4.0.9 在用户内部邻近的变电所之间,宜设置低压联络线。

4.0.10 小负荷的用户，宜接入地区低压电网。

5.0.1 用户的供电电压应根据用电容量、用电设备特性、供电距离、供电线路的回路数、当地公共电网现状及其发展规划等因素，经技术经济比较确定。

5.0.2 供电电压大于等于35kV时，用户的一级配电电压宜采用10kV；当6kV用电设备的总容量较大，选用6kV经济合理时，宜采用6kV；低压配电电压宜采用220/380V，工矿企业亦可采用660V；当安全需要时，应采用小于50V电压。

5.0.3 供电电压大于等于35kV，当能减少配变电级数、简化接线及技术经济合理时，配电电压宜采用35kV或相应等级电压。

4.1.2 低压配电系统

4.1.2.1 带电导体系统的型式

带电导体是指正常通过工作电流的导体，包括相线和中性线（N线及PEN线），但不包括PE线。我国常用的方式如图4-1所示。

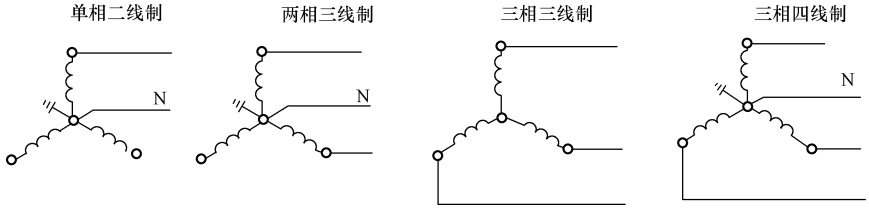


图4-1 常用的集中带点导体系统型式

4.1.2.2 系统接地的型式

系统接地型式的根据是电源点的对地关系和负荷侧电气装置的外露可导电部分的对地关系。电气装置是指所有的电气设备及其间相互连接的线路的组合。外露可导电部分是指电气设备的金属外壳、布线的金属槽盒、套管及电缆的金属护套、铠装等。

系统接地的型式有TN、TT、IT三种系统。TN系统按N线（中性线）与PE线（保护线）的组合情况还分为TN-S、TN-C-S和TN-C三种系统。

4.1.2.3 低压配电系统设计原则

在正常环境的车间或建筑物内，当大部分用电设备为中小容量，且无特殊要求时，宜采用树干式配电。

当用电设备为大容量，或负荷性质重要，或在有特殊要求，如有潮湿、腐蚀性环境或有爆炸和火灾危险场所等的车间、建筑物内，宜采用放射式配电。

当部分用电设备距供电点较远，而彼此相距很近、容量很小的次要用电设备，可采用链式配电，但每一回路环链设备不宜超过5台，其总容量不宜超过10 kW。容量较小用电设备的插座，采用链式配电时，每一条环链回路的设备数量可适当增加。

在高层建筑物内，当向楼层各配电点供电时，宜采用分区树干式配电；但部分较大容量的集中负荷或重要负荷，应从低压配电室以放射式配电。

平行的生产流水线或互为备用的生产机组，根据生产要求，宜由不同的回路配电；同一生产流水线的各用电设备，宜由同一回路配电。

在TN及IT系统接地型式的低压电网中，宜选用Dyn11接线组别的三相变压器作为配

电变压器。

在 TN 及 TT 系统接地型式的低压电网中,当选用 Yyn0 接线组别的三相变压器时,其由单相不平衡负荷引起的中性线电流不得超过低压绕组额定电流的 25%,且其一相的电流在满载时不得超过额定电流值。

当采用 220/380V 的 TN 及 TT 系统接地型式的低压电网时,照明和其他电力设备宜由同一台变压器供电。但当接有较大功率的冲击性负荷而引起电网电压波动和闪变,与照明合用变压器时,将对照明产生不良影响,此时,照明可由单独变压器供电。

由建筑物外引入的配电线路,应在室内靠近进线点便于操作维护的地方装设隔离电器。

4.1.3 供配电电压确定原则

用电单位的供电电压应根据用电容量、用电设备特性、供电距离、供电线路的回路数、当地公共电网现状及其发展规划等因素,经技术经济比较确定。一般常用的供电电源电压为:用电负荷很大的企业,用 220kV 或 110kV;用电负荷较大的企业,用 110kV 或 35kV;负荷不大时,用 10kV;负荷很小时,可接入地区低压电网。

用电单位配电电压的选择应根据配电范围的大小、用电负荷的大小和分布以及用电设备的电压等级等因素,经过技术经济比较来确定。配电范围不大、总用电负荷也不大的企业,配电电压一般采用 10kV;厂区范围大的大型企业,或厂区较分散而各区负荷又较集中的企业,可考虑采用 35kV 或 110kV 作为一次配电电压向各区变电所供电。此时,对单体大容量的用电设备,如电弧炼钢炉等炉用变压器和大容量轧钢机主传动用整流变压器的供电,其一次侧电压均可选用 35kV。各区变电所仍可按 10kV 负荷的大小采用 10kV 作为二次配电电压。低压配电系统应采用 220/380V。

由于 10kV 中等容量(几百千瓦)的电动机目前国内已能生产,价格虽较 6kV 略高,但不必再配置中间变压器,且相同截面电缆,10kV 的输送容量大大增加,线路的损耗也小,因此,配电电压应优先采用 10kV。只有技术经济合理时,才选用 6kV 作为配电电压。

4.2 供配电系统的接线方式及特点

4.2.1 35～110 kV 高压电源系统的接线方式及特点

4.2.1.1 35～110kV 高压电源系统的接线要求

《35～110 kV 变电所》(GB 50059—2011)

规范引用

3.2.1 变电站的主接线。应根据变电站在电网中的地位、出线回路数、设备特点及负荷性质等条件确定,并应满足供电可靠、运行灵活、操作检修方便、节约投资和便于扩建等要求。

变电站在满足供电规划的条件下,宜减少电压等级和简化接线。

3.2.2 在满足变电站运行要求的前提下,变电站高压侧宜采用断路器较少或不设置断路器的接线。

3.2.3 35～110kV 电气接线宜采用桥形、扩大桥形、线路变压器组或线路分支接线、单

母线或单母线分段的接线。

3.2.4 35～66kV线路为8回及以上时，宜采用双母线接线。110kV线路为6回及以上时，宜采用双母线接线。

3.2.5 当变电站装有两台及以上主变压器时，6～10kV电气接线宜采用单母线分段，分段方式应满足当其中一台主变压器停运时，有利于其他主变压器的负荷分配的要求。

3.2.6 当需限制变电站6～10kV线路的短路电流时，可采用下列措施之一：

1. 变压器分别运行；

2. 采用高阻抗变压器；

3. 在变压器回路中串联限流装置。

3.2.7 接在母线上的避雷器和电压互感器，可合用一组隔离开关。接在变压器引出线上的避雷器，不宜装设隔离开关。

《钢铁企业电力设计手册》

规范引用

电源系统接线的一般原则为：

(1)钢铁企业一般采用专用电源线路和企业变电所；

(2)全企业一般设置一个总变电所，个别情况设置两个最多不超过三个总变电所(改扩建企业除外)；

(3)企业总变电所一般做成终端式；

(4)电源系统接线采用放射式，个别情况采用干线式，其分支点不得多于一个。

4.2.1.2 35～110kV高压电源系统的接线方式

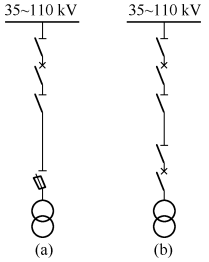
《钢铁企业电力设计手册》上

规范引用

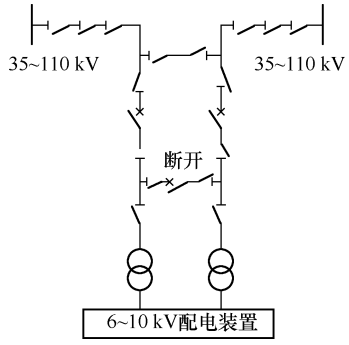
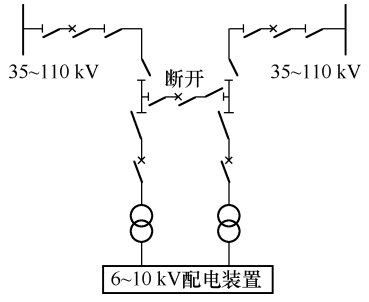
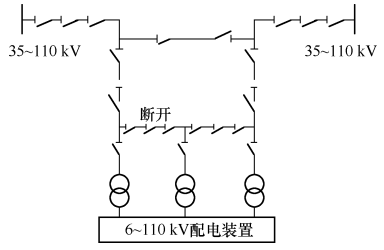
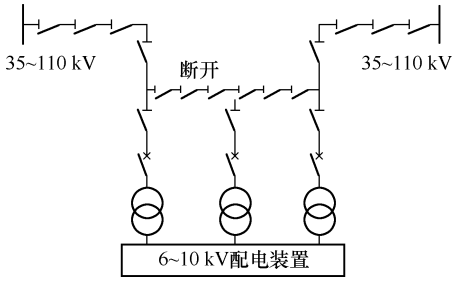
1.3.4.2 电源系统接线方式

电源系统接线方式结合实际情况会有很多种，这里仅列出常用的几种方式，见表4-1。

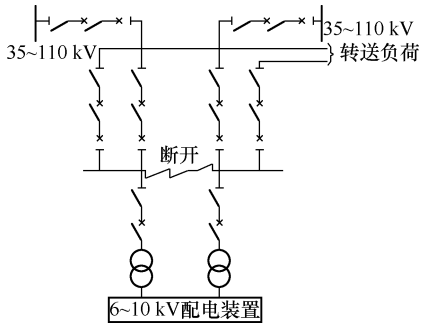
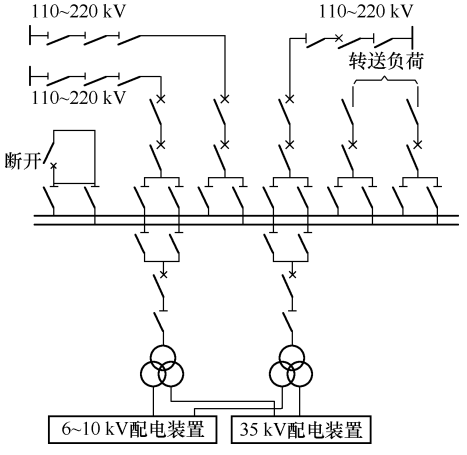
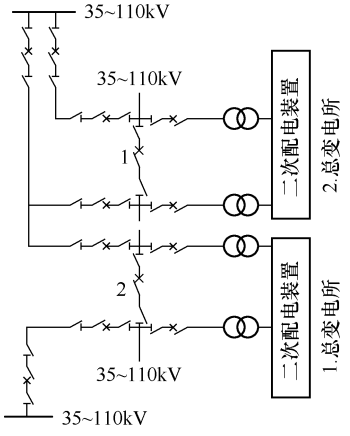
表4-1 电源系统接线

接线图	简要说明
放射式接线	
(1)一回电源线路和一台变压器接线 	(1)对于系统短路容量较小的35～110kV不太重要的小型变电所，当高压熔断器参数能满足要求时，可采用变压器一次侧装设高压熔断器的接线。但在设计上仍应考虑到扩建或改建的可能性。 (2)当由于操作或继电保护等要求时，变压器一次侧装设断路器。

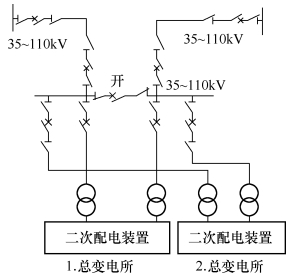
(续表)

接线图	简要说明
(2)具有两回电源线路和两台变压器的内桥接线 	当电源线路较长(线路的故障机会较多)或不需要经常切断变压器时采用内桥接线。 当桥接断路器是合闸运行时,任何一回电源线路故障,继电保护装置将其相应的断路器断开,并不影响所有变压器的正常运行。当桥接断路器是断开运行时,一回电源线路故障,可采用自动投入装量将桥接断路器合闸,使接于故障线路的变压器继续运行。 为了在抢修线路断路器时保证不中断线路的供电,可在线路断路器的外侧增设带两组隔离开关(考虑隔离开关本身检修)的跨条,如图中虚线所示。 适用于对一、二级负荷供电和以后不发展的变电所。
(3)具有两回电源线路和两台变压器的外桥接线 	当供电线较短或需要经常切断变压器(如由于负荷昼夜变化相当大)时,一般采用外桥接线。 当一路电源线路发生故障时,短时间内(操作开关所需时间)停止对相应一台变压器的供电。当操作无要求时,桥接断路器也可采用隔离开关。 适用于对一、二级负荷供电和以后不发展的变电所。
(4)具有两回电源线路和三台变压器的内扩大桥接线 	采用本接线的条件和运行情况与图(2)说明相同。 适用于对各级负荷既集中容量又很大且需要装设三台变压器的变电所和以后不发展的变电所。
(5)具有两回电源线路和三台变压器的外扩大桥接线 	采用本接线的条件和运行情况与图(3)说明相同,但桥接方式在任何情况下均应采用断路器。 适用于对各级负荷既集中容量又很大且需要装设三台变压器的变电所和以后不发展的变电所。

（续表）

接线图	简要说明
（6）单母线分段接线 	具有两回路电源线路，一、二回转送线路和两台变压器的变电所，一般采用单母线分段接线。 母线检修时，接在该母钱上的电源线路和馈出线路均要停止运行。因此对重要用户应由两段母线分别供电。 本接线在大、中型企业中采用较多。
（7）双母线接线 	具有35～110kV电压、负荷重要、线路回路数较多或有其他特殊要求时，可采用双母线接线。 母线检修时，可不停电将所接回路侧换到另一组母线上继续供电。但接线复杂，投资较高。 在接线在大型企业中采用较多。
（8）三回路电源线路和两个总变电所 	大、中型企业需建两个总变电所时采用。 均作为终端变电所运行，故1、2分段断路器在正常运行时断开。 其特点是每个总变电所均有一回专用电源线路供电，并且还有一回共用电源线路供电，提高供电可靠性，故均可向一级负荷供电，尤其是1总变电所供电可靠性更高。

(续表)

接线图	简要说明
(9)两回路电源线路和两个总变电所  	当只有两回电源线路又需要建两个总变电所时采用。 1总变电所作为终端变电所运行,分段断路器在正常运行时断开。2总变电所的变压器一次侧不设置配电装置,但需在变压器一次套管内装电流互感器或另外装电流互感器作为变压器差动保护使用,其保护信号转送到电源断路器跳闸。 特点是接线简单,供电可靠性高,管理集中,投资省,运行费省,均可向一级负荷供电。

4.2.2 高压配电系统中性点接地方式

4.2.2.1 中性点不接地系统

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》上

中性点不接地系统属于非直接接地系统的一种,实际上可以看作是经容抗接地系统。该容抗是由电网中的架空线路、电缆线路、电动机和变压器绕组等对地耦合电容所组成的。

4.2.2.2 中性点经消弧线圈接地系统

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》上

中性点经消弧线圈接地系统必须采用过补偿运行方式,即消弧线圈的感抗小于电网对地的容抗,$X_L<X_C$,可调节消弧线圈分接头来达到。由于是人为地增加了一个比电网接地电容电流略大一些而相位相差180°的电感电流,电容电流被电感电流补偿掉,流过接地故障点的接地故障电流,仅为补偿后的数值很小的残余电感电流。

4.2.2.3 中性点经电阻接地系统

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》上

中性点经电阻接地系统,当电网发生单相接地故障时,由于人为地增加了一个与电网接地电容电流数值相等或略大,而相位相差90°的有功电流,这就使流过故障点的接地故障电流绝对值比不接地电网增大$\sqrt{2}$倍或略大。

4.2.2.4 中性点接地的接线和比较

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》上

企业供电主变压器应采用有一个三角形线圈的接线，以便将电源接地系统和企业配电接地系统隔离开，这样，电源系统不论采用何种接地系统对企业配电接地系统均无关系。

各种中性点接地方式比较见表4-2。

表4-2 各种中性点接地方式比较

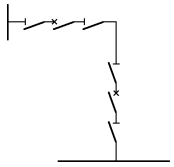
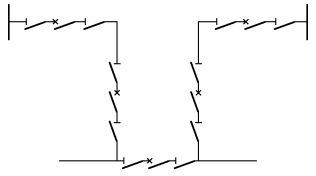
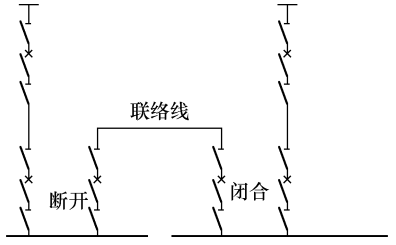
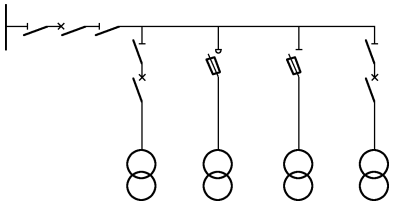
比较项目	不接地	经消弧线圈接地	经电阻接地	直接接地
单相接地电流	较小 仅对地电容电流	最小 等于残流	较大 等于对地电容电流和有功电流向量和	最大 有时比三相短路电流还大
一相接地时非故障相电压升高	最高 等于或略大于$\sqrt{3}$倍	过补偿时升到$\sqrt{3}$倍 欠补偿时往往升到危险电压	升到$\sqrt{3}$倍	最小 几乎和正常一样，无变化
弧光接地过电压	最高 一般为相电压3倍最高为3.5倍	低 能抑制在2.5倍相电压以下	低 能抑制在2.8倍相电压以下	最低
操作过电压	最高可达4～4.5倍相电压	一般不超过4倍相电压	（暂无数据）	最低
变压器采用分级绝缘的可能性	不可	一般不可	一般可以	可以
高压电器绝缘（如断路器、互感器、电缆等）	全绝缘	全绝缘	一般全绝缘但允许电缆对地绝缘水平降低	可降低20%
重复故障可能性	大	小	更小	最小
对通信的感应	最小	小	小	最大
继电保护	继电保护灵敏系数难以满足要求，即使采用ZD—4型小电流接地信号装置，也仅用于接地电流10A以下	需采用复杂的ZD—5型小接地电流信号装置，但仅用于电容电流较大的电网	继电保护灵敏系数高，采用简单的零序电流保护，如不满足要求时可用零序方向保护	继电保护灵敏系数最高
运行维护	简单	最复杂 要经常根据电网的变化来调节	简单	简单
接地装置投资	最小	最大	较小	小
单相接地后果	接地时异常过电压高，可能损坏设备	仅过补偿时过电压小，不损坏设备，大部分故障能自动消除 但全补偿和欠补偿时会损坏设备	接地时过电压小，不会损坏设备，当接地电流大时需切除故障线路，对防止电缆火灾有利	能损坏设备，要尽快切除故障

4.2.3 6～35 kV 配电系统的接线方式及特点

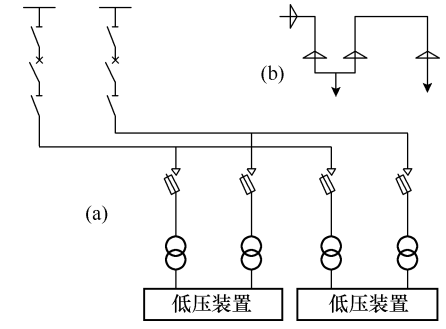
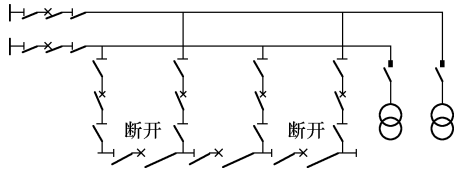
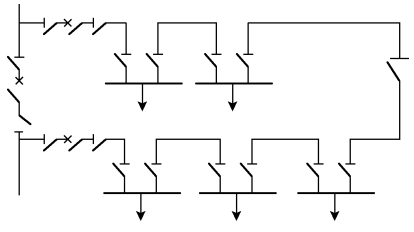
企业的配电系统一般都采用放射式和树干式接线,也可采用环式或组合式。放射式接线供电可靠性高、故障发生后影响范围较小,切换操作方便,保护简单,但需要配电线路和断路器数量多,故造价较高。树干式投资省,但供电可靠性低,故障发生后影响范围较大。环式接线通常为开环运行。

配电系统接线结合用户实际情况会有多种方式,几种常见的方式,其特点及简要说明见表 4-3。

表 4-3 配电系统接线

接线图	简要说明
放射式接线	
(1)6～35kV 单回路放射式 	一般用于小容量,二、三级负荷或专用用电设备
(2)6～35kV 双回路放射式 	一般用于较大容量、具有一级负荷的用电设备
(3)6～35kV 有联络线的单回路放射式 	适用于供二、三级负荷的小容量配电所,当电源线路故障或检修时,由联络线供电。 电源线路容量按照两个配电所总负荷选择,联络线容量按照配电所中较大负荷选择
树干式接线	
(4)6～10kV 单回路干线式 	一般用于架空线路上,对三级负荷分散用户供电。 干线的分支数不应超过 5 个,变压器容量在 315kVA 及以下时,采用隔离开关熔断器保护;户外安装的变压器采用跌开式熔断器保护

续表

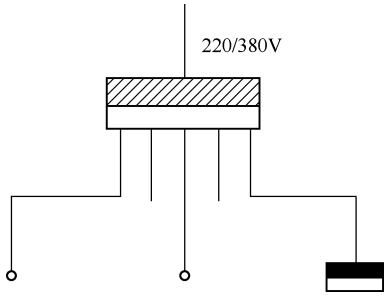
接线图	简要说明
(5)6～10kV 双干线式之一 	用于配电给各级负荷装有两台变压器的变电所，干线可采用架空线也可采用电缆，前者接变压器不宜超过5台，后者不得超过2台，但当供一级负荷时都不得超过2台。 图(a)为架空干线接法；图(b)为电缆干线接法
(6)6～10kV 双干线式之二 	用于配电给二、三级负荷用户，当每条干线上只有1个分支(接2个变电所)时，也可配电给一级负荷用户
(7)6～10kV 单侧供电环式 	用于配电给二、三级负荷用户，一般两回路电源同时工作开环运行，也可一用一备闭环运行。供电可靠性较高。电力线路检修时可以对二级负荷用户配电，但保护装置和整定配合都比较复杂

4.2.4　低压配电系统的接线方式及特点

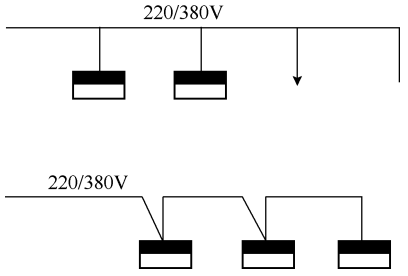
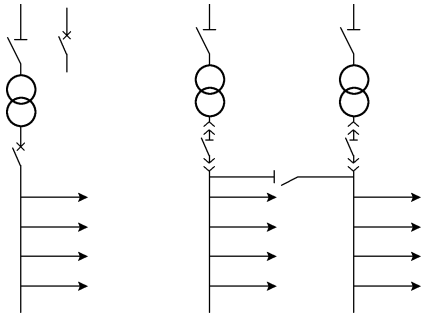
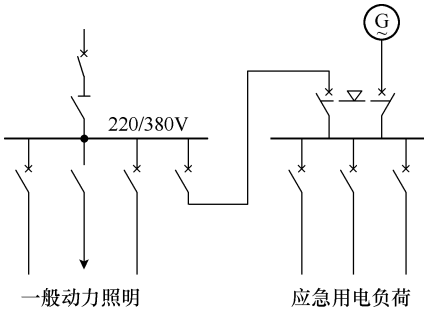
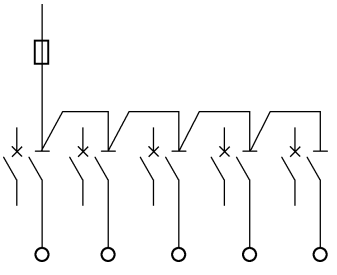
规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

常用低压电力配电系统接线及有关说明见表 4-4。

表 4-4　常用低压电力配电系统接线及有关说明

名称	接线图	简要说明
放射式		配电线故障互不影响，供电可靠性较高，配电设备集中，检修比较方便，但系统灵活性较差，有色金属消耗较多，一般在下列情况下采用： (1)容量大、负荷集中或重要的用电设备。 (2)需要集中联锁启动、停车的设备。 (3)有腐蚀性介质或爆炸危险等环境，不宜将用电及保护启动设备放在现场

续表

名称	接线图	简要说明
树干式		配电设备及有色金属消耗较少,系统灵活性好,但干线故障时影响范围大。 一般用于用电设备的布置比较均匀、容量不大,又无特殊要求的场合
变压器干线式		除了具有树干式系统的优点外,接线更简单,能大量减少低压配电设备。 为了提高母干线的供电可靠性,应适当减少接出的分支回路数,一般不超过 10 个。 频繁启动、容量较大的冲击负荷,以及对电压质量要求严格的用电设备,不宜用此方式供电
备用柴油发电机组		10kV 专用架空线路为主电源,快速自启动型柴油发电机组做备用电源。 用于附近只能提供一个电源,若得到第二个电源需要大量投资时,经技术经济比较,可采用此方式供电。宜注意: (1)与外网电源间应设机械与电气联锁,不得并网运行。 (2)避免与外网电源的计费混淆。 (3)在接线上要具有一定的灵活性,以满足在正常停电(或限电)情况下能供给部分重要负荷用电
链式		特点与树干式相似,适用于距配电屏较远而彼此相距又较近的不重要的小容量用电设备。 链接的设备一般不超过 5 台,总容量不超过 10kW。 供电给容量较小用电设备的插座,采用链式配电时,每一条环链回路的数量可适当增加

4.3 应急电源和备用电源的选择及接线方式

4.3.1 应急电源种类和要求

4.3.1.1 应急电源种类

规范引用 《工业与民用配电设计手册》第三版



(1)独立于正常电源的发电机组:包括应急燃气轮机发电机组、应急柴油发电机组。快速自启动的发电机组适用于允许中断供电时间为15s以上的供点。

(2)UPS不间断电源。适用于允许中断供电时间为毫秒级的负荷。

(3)EPS应急电源。一种把蓄电池的直流电能逆变成交流电能的应急电源。适用于允许中断供电时间为0.25s以上的负荷。

(4)有自动投入装置的有效地独立于正常电源的专用馈电线路。适用于允许中断供电时间1.5s或0.6s以上的负荷。

(5)蓄电池。适用于容量不大的特别重要负荷,有可能采用直流电源者。

4.3.1.2 应急电源要求

规范引用 《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)



3.0.4 下列电源可作为应急电源:

1. 独立于正常电源的发电机组。

2. 供电网络中独立于正常电源的专用的馈电线路。

3. 蓄电池。

4. 干电池。

3.0.5 应急电源应根据允许中断供电的时间选择,并应符合下列规定:

1. 允许中断供电时间为15s以上的供电,可选用快速自启动的发电机组。

2. 自投装置的动作时间能满足允许中断供电时间的,可选用带有自动投入装置的独立于正常电源之外的专用馈电线路。

3. 允许中断供电时间为毫秒级的供电,可选用蓄电池静止型不间断供电装置或柴油机不间断供电装置。

3.0.6 应急电源的供电时间,应按生产技术上要求的允许停车过程时间确定。

3.0.9 备用电源的负荷严禁接入应急供电系统。

4.0.2 应急电源与正常电源之间,应采取防止并列运行的措施。当有特殊要求.应急电源向正常电源转换需短暂并列运行时,应采取安全运行的措施。

4.3.2 应急电源系统设计

规范引用 《工业与民用配电设计手册》第三版



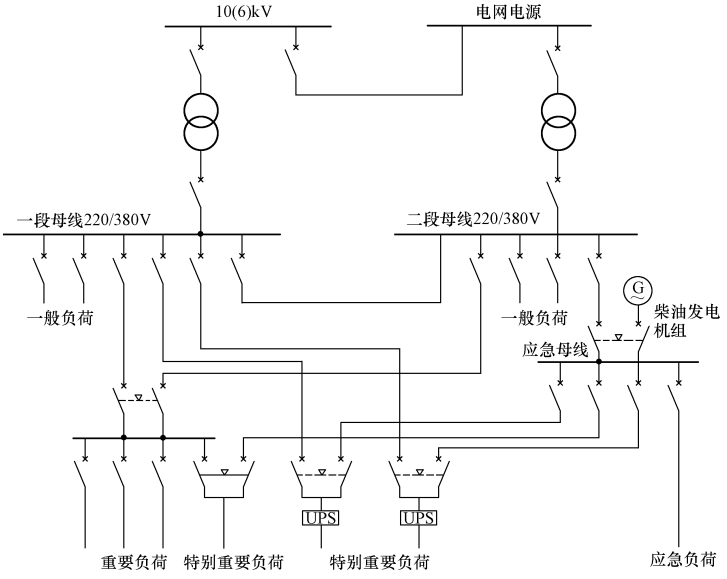
(1)工程设计中,对于其他专业提出的特别重要负荷,应仔细研究,并尽可能减少特别重要负荷的负荷量,但需要双重保安措施者除外。

(2)为确保对特别重要负荷的供电,严禁将其他负荷接入应急供电系统。

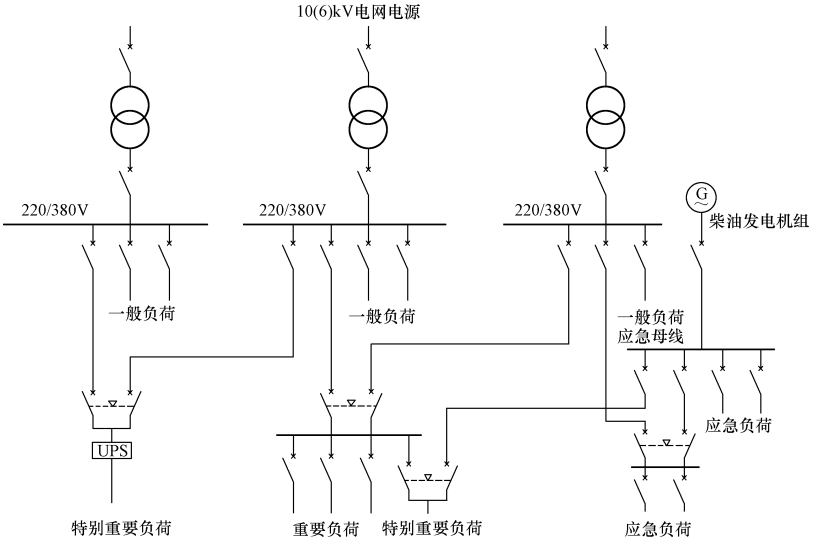
(3)应急电源与正常电源之间必须采取可靠措施防止其并列运行。目的在于保证应急电源的专用性,更重要的是防止向系统反送电。

(4)防灾或类似的重要用电设备的两回电源线路应在最末一级配电箱处自动切换。

大型企业及重要的民用建筑中往往同时使用几种应急电源,应使各种应急电源设备密切配合,充分发挥作用。应急电源系统接线示例(以蓄电池、不间断供电装置、柴油发电机同时使用为例)见图 4-2。



(a)



(b)

图 4-2 应急电源系统接线示例

4.3.3 柴油发电机组的功能要求和容量选择

4.3.3.1 柴油发电机组的功能要求

规范引用 《工业与民用配电设计手册》第三版



应急电源应选用2级以上自动化柴油发电机组，根据《自动化内燃机电站通用技术条件》(GB 12786—2006)标准要求有以下功能：

(1)自动维持准备运行状态。机组应急启动和快速加载时的机油压力、机油温度、冷却水温度应符合产品技术条件的规定。

(2)自动启动和加载。接自控或遥控指令或市电供电中断时，机组能自动启动并供电。机组允许三次自动启动，每次启动时间8～12s，启动间隔5～10s。第三次启动失败时，应发出启动失败的声光报警信号。设有备用机组时，应能自动地将启动信号传递给备用机组，机组自动启动的成功率不低于98%，市电失电后恢复向负荷供电时间一般为8～20s。

对于额定功率不大于250kW柴油发电机，首次加载量不小于50%额定负荷，大于250kW柴油发电机按产品技术条件规定。

(3)自动停机。接自控或遥控的停机指令后，机组应能自动停机；当电网恢复正常后，机组应能自动切换和自动停机，由电网向负载供电。

(4)自动补给机组的燃油、机油、冷却水能够自动补充，机组启动用蓄电池自动充电。

(5)有过载、短路、过速度(或过频率)、冷却水温度过高、机油压力过低等保护装置，并根据需要选设过电压、欠电压、失电压、欠速度(或欠频率)、机油温度过高、启动空气压力过低、燃油箱油面过低、发电机绕组温度过高等方面的保护装置。

(6)有表明正常运行或非正常运行的声光信号系统。

4.3.3.2 柴油发电机组的容量选择

规范引用 《工业与民用配电设计手册》第三版



(1)应急电源一般只设一台机组，其容量按应急负荷大小和启动大的电动机容量等因素综合考虑确定。

(2)在方案或初步设计阶段，按下述方法估算并选择其中容量最大者：

1)按建筑面积估算。建筑面积在10000m^2以上的大型建筑按15～20W/m^2，建筑面积在10000m^2及以下的中小型建筑按10～15W/m^2。

2)按配电变压器容量估算。占配电变压器容量的10%～20%。

3)按电动机启动容量估算。当允许发电机端电压瞬时压降为20%时，发电机组直接启动异步电动机的能力为每1kW电动机功率，需要5kW柴油发电机组功率。若电动机降压启动或软启动，由于启动电流减小，柴油发电机容量也按相应比例减小。按电动机功率估算后进行归整，即按柴油发电机组的标定系列估算容量。

(3)在施工图阶段可根据一级负荷、消防负荷以及某些重要的二级负荷容量，按下述方法计算并选择其中容量最大者：

1)按稳定负荷计算发电机容量

$$S_{G1}=\frac{P_{\Sigma}}{\eta_{\Sigma}\cos\varphi} \tag{4-1}$$

式中 S_{G1}——按稳定负荷计算的发电机视在功率(kVA)；

P_{Σ}——发电机总负荷计算功率(kW)；

η_{Σ}——所带负荷的综合效率，一般取 $\eta_{\Sigma}=0.82\sim0.88$；

$\cos\varphi$——发电机额定功率因数，一般取 $\cos\varphi=0.8$。

2)按尖峰负荷计算发电机容量

$$S_{G2}=\frac{K_j}{K_G}S_m=\frac{K_i}{K_G}\sqrt{P_m^2+Q_m^2} \tag{4-2}$$

式中 S_{G2}——按尖峰负荷计算的发电机视在功率(kVA)；

K_j——因尖峰负荷造成电压、频率降低而导致电动机功率下降的系数，一般取 $K_j=0.9\sim0.95$；

K_G——发电机允许短时过载系数，一般取 $K_G=1.4\sim1.6$；

S_m——最大的单台电动机或成组电动机的启动容量(kVA)；

P_m——S_m的有功功率(kW)；

Q_m——S_m的无功功率(kvar)。

3)按发电机母线允许压降计算发电机容量

$$S_{G3}=\frac{1-\Delta U}{\Delta U}X'_{d}S_{st\Delta} \tag{4-3}$$

式中 S_{G3}——按母线允许压降计算的发电机视在功率(kVA)；

ΔU——发电机母线允许电压降，一般取 $\Delta U=0.2$；

X'_{d}——发电机瞬态电抗，一般取 $X'_{d}=0.2$；

$S_{st\Delta}$——导致发电机最大电压降的电动机的最大启动容量(kVA)。

(4)柴油发电机的额定功率系指外界大气压力为 101.325kPa(760mmHg)、大气温度为 20℃、相对湿度为 50%的情况下，保证能连续运行 12h 的功率(包括超负荷 110%运行 1h)。如连续运行时间超过 12h，则应按 90%额定功率使用。如气压、气温、湿度与上述规定不同，应对柴油发电机的额定功率进行修正。

(5)全压启动大容量笼型电动机时，母线电压不应低于额定电压的 75%或 80%。电动机全压启动允许容量取决于发电机的容量和励磁方式；宜选用高速柴油发电机组和无刷型自动励磁装置。

4.3.3.3 自备柴油发电机组

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

6.1.1 本节适用于发电机额定电压为 230/400V，机组容量为 2000kW 及以下的民用建筑工程中自备应急低压柴油发电机组的设计。自备应急柴油发电机组的设计应符合下列规定：

1. 符合下列情况之一时，宜设自备应急柴油发电机组：

1)为保证一级负荷中特别重要的负荷用电时；

2)用电负荷为一级负荷，但从市电取得第二电源有困难或技术经济不合理时。

2. 机组宜靠近一级负荷或配变电所设置。柴油发电机房可布置于建筑物的首层、地下

一层或地下二层，不应布置在地下三层及以下。当布置在地下层时，应有通风、防潮、机组的排烟、消声和减振等措施并满足环保要求。

3. 机房宜设有发电机间、控制及配电室、储油间、备品备件储藏间等。设计时可根据工程具体情况进行取舍、合并或增添。

4. 当机组需遥控时，应设有机房与控制室联系的信号装置。

当有要求时，控制柜内宜留有通信接口，并可通过BAS系统对其实时监控。

5. 当电源系统发生故障停电时，对不需要机组供电的配电回路应自动切除。

6. 发电机间、控制室及配电室不应设在厕所、浴室或其他经常积水场所的正下方或贴邻处。

7. 设置在高层建筑内的柴油发电机房，应设置火灾自动报警系统和除卤代烷1211、1301以外的自动灭火系统。除高层建筑外，火灾自动报警系统保护对象分级为一级和二级的建筑物内的柴油发电机房，应设置火灾自动报警系统和移动式或固定式灭火装置。

6.1.2 柴油发电机组的选择应符合下列规定：

1. 机组容量与台数应根据应急负荷大小和投入顺序以及单台电动机最大启动容量等因素综合确定。当应急负荷较大时，可采用多机并列运行，机组台数宜为2～4台。当受并列条件限制时，可实施分区供电。当用电负荷谐波较大时，应考虑其对发电机的影响。

2. 在方案及初步设计阶段，柴油发电机容量可按配电变压器总容量的10%～20%进行估算。在施工图设计阶段，可根据一级负荷、消防负荷以及某些重要二级负荷的容量，按下列方法计算的最大容量确定：

1)按稳定负荷计算发电机容量；

2)按最大的单台电动机或成组电动机启动的需要，计算发电机容量；

3)按启动电动机时发电机母线允许电压降计算发电机容量。

3. 当有电梯负荷时，在全电压启动最大容量笼型电动机情况下，发电机母线电压不应低于额定电压的80%；当无电梯负荷时，其母线电压不应低于额定电压的75%。当条件允许时，电动机可采用降压启动方式。

4. 多台机组时，应选择型号、规格和特性相同的机组和配套设备。

5. 宜选用高速柴油发电机组和无刷励磁交流同步发电机，配自动电压调整装置。选用的机组应装设快速自启动装置和电源自动切换装置。

4.3.4 应急电源EPS

4.3.4.1 应急电源EPS的概念

EPS是利用IGBT大功率模块及相关的逆变技术而开发的一种把直流电能逆变成交流电能的大型应急电源，它的容量为0.5～400kW，是一种新颖的、静态无公害的、免维护无人值守的、安全可靠的集中供电式应急电源装置。

4.3.4.2 应急电源 EPS 的工作原理

EPS 应急电源由充电器、逆变器、蓄电池、隔离变压器、切换开关、监控器和显示、保护等装置及机箱组成。

应急电源 EPS 一般分为不可变频应急电源和可变频应急电源。不可变频应急电源 EPS 的工作原理见图 4-3,不予详述。

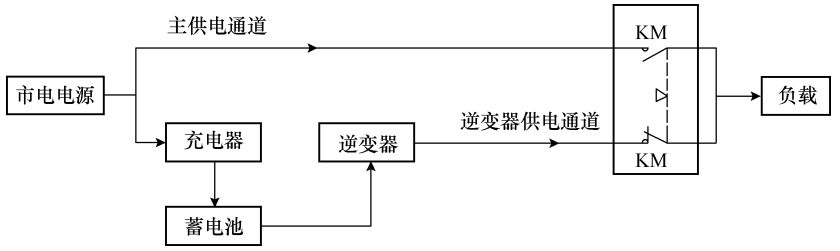


图 4-3 不可变频应急电源 EPS 工作原理

可变频应急电源 EPS 的工作原理见图 4-4。当电网有电时,QF 吸合经整流给逆变器提供直流电,同时充电器对电池组充电。当电网断电时或者低于 380V 的 15%时,KM 吸合由电池组给逆变器提供直流电。当需要电机负载工作时,给予启动信号(如运行信号、远程控制、消防联动信号),逆变器立即输出,从 0～50Hz,电动机进行变频启动,其频率到达 50Hz 后保持正常运行。手动/自动选择转换开关,在自动位置可进行远程控制和消防联动(DC24V)操作,在手动位置可进行本机操作,此时远程控制和消防联动不能进行操作,运行信号和手动或者自动位置消防中心可监控。

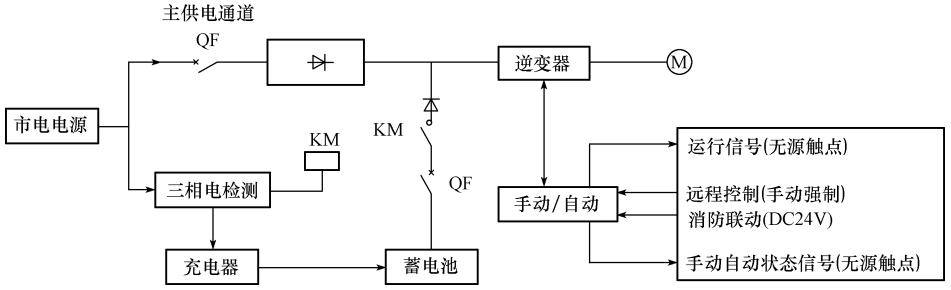


图 4-4 可变频应急电源 EPS 工作原理

4.3.4.3 应急电源 EPS 的切换时间和供电时间

应急电源 EPS 的应急供电切换时间为 0.1～0.25s,应急供电时间一般为 60、90、120min 三种规格,还可以根据用户需要选择更长的。

4.3.4.4 应急电源 EPS 的容量选择

选用EPS的容量必须同时满足以下条件：

(1)负载中最大的单台直接启动的电机容量，只占EPS容量的1/7以下。

(2)EPS容量应是所供负载中同时工作容量总和的1.1倍以上。

(3)直接启动风机、水泵时，EPS的容量应为同时工作的风机、水泵容量的5倍以上。

(4)若风机、水泵为变频启动，则EPS的容量为同时工作的电机总容量的1.1倍。

(5)若风机、水泵采用星－三角降压启动，则EPS的容量应为同时工作的电机总容量的3倍以上。

4.3.4.5 应急电源EPS的要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

6.2.2 EPS装置的选择应符合下列规定：

1. EPS装置应按负荷性质、负荷容量及备用供电时间等要求选择。

2. EPS装置可分为交流制式及直流制式。电感性和混合性的照明负荷宜选用交流制式；纯阻性及交、直流共用的照明负荷宜选用直流制式。

3. EPS的额定输出功率不应小于所连接的应急照明负荷总容量的1.3倍。

4. EPS的蓄电池初装容量应保证备用时间不小于90min。

5. EPS装置的切换时间应满足下列要求：

1)用作安全照明电源装置时，不应大于0.25s；

2)用作疏散照明电源装置时，不应大于5s；

3)用作备用照明电源装置时，不应大于5s，金融、商业交易场所不应大于1.5s。

6.2.3 当EPS装置容量较大时，宜在电源侧采取高次谐波的治理措施。

6.2.4 EPS配电系统的各级保护装置之间应有选择性配合。

6.2.5 EPS装置的交流输入电源应符合下列要求：

1. EPS宜采用两路电源供电，交流输入电源的总相对谐波含量不宜超过10%。

2. EPS系统的交流电源，不宜与其他冲击性负荷由同一变压器及母线段供电。

4.3.5 不间断电源装置(UPS)

4.3.5.1 不间断电源装置(UPS)概述

《工业与民用配电设计手册》(第三版)

规范引用

UPS不间断电源适用于向用户的关键设备，如互联网数据中心、银行的清算中心和通存通取网控系统、证券交易及期货贸易系统、民航和铁路的售票系统、卫星地面站及民航的航管调度系统、冶金及大规模集成电路的流水生产线管理系统、财税信息系统、气象和地震预报和监控系统等提供高质量电压频率、波形的无时间中断的交流电源。

(1)不间断电源UPS的工作原理。

UPS一般由整流器、蓄电池、逆变器、静态开关和控制系统组成。通常采用的是在线式UPS。它首先将市电输入的交流电源变成稳压直流电源，供给蓄电池和逆变器，再经逆变器重新被变成稳定的、纯洁的、高质量的交流电源。它可完全消除在输入电源中可能出现的任何电源问题(电压波动、频率波动、谐波失真和各种干扰)。其工作原理框图见图4-5。

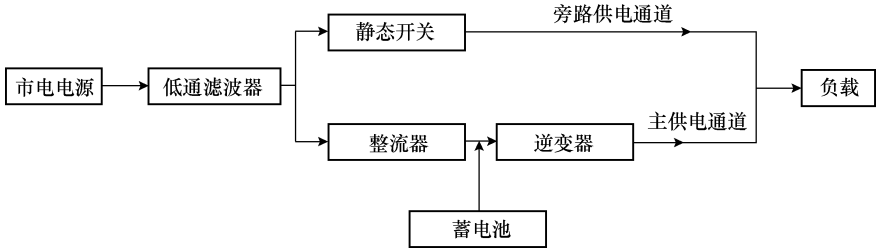


图 4-5 在线式 UPS 工作原理框图

(2)不间断电源 UPS 的功能要求。

1)静态旁路开关的切换时间一般为 2～10ms,并应具有如下功能:

①当逆变装置故障或需要检修时,应及时切换到电网(市电备用)电源供电。

②当分支回路突然故障短路,电流超过预定值时,应切换到电网(市电备用)电源,以增加短路电流,使保护装置迅速动作,待切除故障后,再启动返回逆变器供电。

③带有频率跟踪环节的不间断电源装置,当电网频率波动或电压波动超过额定值时,应自动与电网解列,频率与电压恢复正常时再自动并网。

2)用市电旁路时,逆变器的频率和相位应与市电锁相同步。

3)对于三相输出的负荷不平衡度,最大一相和最小一相负载的基波均方根电流之差,不应超过不间断电源额定电流的 25%,而且最大线电流不超过其额定值。

4)三相输出系统输出电压的不平衡系数(负序分量对正序分量之比)应不超过 5%。输出电压的总波形失真度不应超过 5%(单相输出允许 10%)。

(3)不间断电源设备的选择。

1)不间断电源设备输出功率,应按下列条件选择:

①不间断电源设备给电子计算机供电时,单台 UPS 的输出功率应大于电子计算机各设备额定功率总和的 1.5 倍。对其他用电设备供电时,为最大计算负荷的 1.3 倍。

②负荷的最大冲击电流不应大于不间断电源设备的额定电流的 150%。

2)UPS 应急供电时间,应按下列条件选择:

①为保证用电设备按照操作顺序进行停机,其蓄电池的额定放电时间可按停机所需最长时间来确定,一般可取 8～15min。

②当有备用电源时,为保证用电设备供电连续性,其蓄电池额定放电时间按等待备用电源投入考虑,一般可取 10～30min。设有应急发电机时,UPS 应急供电时间可以短一些。

③如有特殊要求,其蓄电池额定放电时间应根据负荷特性来确定。

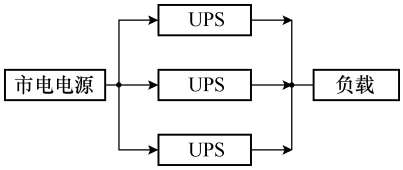
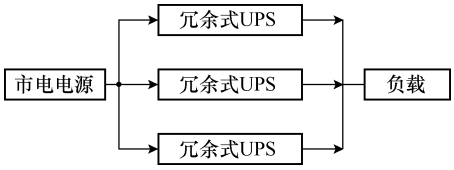
(4)不间断电源 UPS 系统。

根据用电设备对供电可靠性、连续性、稳定性和电源诸参数质量的要求,不间断电源 UPS 宜采用以下几种类型,见表 4-5。

表 4-5 不间断电源 UPS 系统

序号	系统方式	系统图	简要说明
1	单一式不间断电源系统	市电电源 → UPS → 负载	因只有一个不间断电源设备,一般用于系统容量较小、可靠性要求不高的场所

续表

序号	系统方式	系统图	简要说明
2	冗余式不间断电源系统		因不间断电源设备中增设一个或几个不间断电源装置作为备用，确保了供电的连续性。一般用于系统容量较小的系统中
3	并联式不间断电源系统		可组成大型 UPS 供电系统，供电可靠性高，运行比较灵活，便于检修
4	并联冗余式不间断电源系统		可组成大型 UPS 供电系统，供电可靠性高，运行灵活方便，便于检修，可用于互联网数据中心、银行的清算中心等重要场所

4.3.5.2　不间断电源装置(UPS)的设置

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

6.3.2　符合下列情况之一时，应设置 UPS 装置：

1. 当用电负荷不允许中断供电时；

2. 允许中断供电时间为毫秒级的重要场所的应急备用电源。

6.3.3　UPS 装置的选择，应按负荷性质、负荷容量、允许中断供电时间等要求确定，并应符合下列规定：

1. UPS 装置，宜用于电容性和电阻性负荷；

2. 对电子计算机供电时，UPS 装置的额定输出功率应大于计算机各设备额定功率总和的 1.2 倍，对其他用电设备供电时，其额定输出功率应为最大计算负荷的 1.3 倍；

3. 蓄电池组容量应由用户根据具体工程允许中断供电时间的要求选定；

4. 不间断电源装置的工作制，宜按连续工作制考虑。

6.3.4　当 UPS 装置容量较大时，宜在电源侧采取高次谐波的治理措施。

6.3.5　UPS 配电系统各级保护装置之间，应有选择性配合。

6.3.6　UPS 系统的交流输入电源应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 6.2.5 条的规定。

在 TN-S 供电系统中，UPS 装置的交流输入端宜设置隔离变压器或专用变压器；当 UPS 输出端的隔离变压器为 TN-S、TT 接地形式时，中性点应接地。

4.3.6 备用电源

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



3.5.1-3 一级、二级负荷,可用于确定备用电源或应急电源及其容量。

5.2.1-3 为保证继电保护装置的选择性,对相邻设备和线路有配合要求的保护和同一保护内有配合要求的两元件,其上下两级之间的灵敏性及动作时间应相互配合。

当必须加速切除短路时,可使保护装置无选择性动作,但应利用自动重合闸或备用电源自动投入装置,缩小停电范围。

5.2.2-9 对于400kVA及以上变压器,当数台并列运行或单独运行并作为其他负荷的备用电源时,应根据可能过负荷的情况装设过负荷保护。

5.2.6 备用电源和备用设备的自动投入装置,应符合下列规定。

1. 备用电源或备用设备的自动投入装置,可在下列情况之一时装设:

1)由双电源供电的变电所和配电所,其中一个电源经常断开作为备用;

2)变电所和配电所内有互为备用的母线段;

3)变电所内有备用变压器;

4)变电所内有两台所用变压器;

5)运行过程中某些重要机组有备用机组。

2. 自动投入装置应符合下列要求:

1)应能保证在工作电源或设备断开后才投入备用电源或设备;

2)工作电源或设备上的电压消失时,自动投入装置应延时动作;

3)自动投入装置保证只动作一次;

4)当备用电源或设备投入到故障上时,自动投入装置应使其保护加速动作;

5)手动断开工作电源或设备时,自动投入装置不应启动;

6)备用电源自动投入装置中,可设置工作电源的电流闭锁回路。

3. 民用建筑中备用电源自动投入装置多级设置时,上下级之间的动作应相互配合。

13.9.1 火灾自动报警系统,应设有主电源和直流备用电源。

13.9.2 火灾自动报警系统的主电源应采用消防专用电源,直流备用电源宜采用火灾报警控制器的专用蓄电池或集中设置的蓄电池。当直流备用电源为集中设置的蓄电池时,火灾报警控制器应采用单独的供电回路,并应保证在消防系统处于最大负载状态下不影响报警控制器的正常工作。

13.9.7 当消防应急电源由自备发电机组提供备用电源时,应符合下列要求:

1. 消防用电负荷为一级时,应设自动启动装置,并应在30s内供电;

2. 当消防用电负荷为二级,且采用自动启动有困难时,可采用手动启动装置;

3. 主电源与应急电源间,应采用自动切换方式。

4.4　电能质量要求及改善电能质量的措施

4.4.1　电能质量要求

4.4.1.1　供电电压偏差限值

规范引用　《电能质量　供电电压偏差》(GB/T 12325—2008)

4.1　35kV 及以上供电电压正、负偏差绝对值之和不超过标称电压的 10%。

注：如供电电压上、下偏差同号(均为正或负)时，按较大的偏差绝对值作为衡量依据。

4.2　20kV 及以下三相供电电压偏差为标称电压的±7%。

4.3　220V 单相供电电压偏差为标称电压的+7%，−10%。

4.4　对供电点短路容量较小、供电距离较长以及对供电电压偏差有特殊要求的用户，由供、用电双方协议确定。

4.4.1.2　电压波动和闪变限值

规范引用　《电能质量　电压波动和闪变》(GB/T 12326—2008)

4　电压波动的限值

任何一个波动负荷用户在电力系统公共连接点产生的电压变动，其限值和电压变动频度、电压等级有关。对于电压变动频度较低(如 $r \leqslant 1000$ 次/h)或规则的周期性电压波动，可通过测量电压方均根值曲线 $U(t)$ 确定其电压变动频度和电压变动值。电压波动限值见表 4-6。

表 4-6　电压波动限值

r/(次/h)	d/(%)	
	LV、MV	HV
$r \leqslant 1$	4	3
$1 < r \leqslant 10$	3*	2.5*
$10 < r \leqslant 100$	2	1.5
$100 < r \leqslant 1000$	1.25	1

注 1：很少的变动频度(每日少于 1 次)，电压变动限值 d 还可以放宽，但不在《电能质量　电压波动和闪变》(GB/T 12326—2008)中规定。

注 2：对于随机性不规则的电压波动，如电弧炉负荷引起的电压波动，表中标有“*”的值为其限值。

注 3：参照《标准电压》(GB/T 156—2007)，《电能质量　电压波动和闪变》(GB/T 12326—2008)中系统标称电压 U_N 等级按以下划分：

低压(LV)　　$U_N \leqslant 1$kV

中压(MV)　　1kV$< U_N \leqslant$35kV

高压(HV)　　35kV$< U_N \leqslant$220kV

对于 220kV 以上超高压(EHV)系统的电压波动限值，可参照高压(HV)系统执行。

5 闪变的限值

5.1 电力系统公共连接点,在系统正常运行的较小方式下,以一周(168h)为测量周期,所有长时间闪变值 P_{lt} 都应满足表 4-7 闪变限值的要求。

表 4-7 闪变限值

P_{lt}	
≤110kV	>110kV
1	0.8

5.2 任何一个波动负荷用户在电力系统公共连接点单独引起的闪变值一般应满足下列要求。

5.2.1 电力系统正常运行的较小方式下,波动负荷处于正常、连续工作状态,以一天(24h)为测量周期,并保证波动负荷的最大工作周期包含在内,测量获得的最大长时间闪变值和波动负荷退出时的背景闪变值,通过下列计算获得波动负荷单独引起的长时间闪变值:

$$P_{lt1}=\sqrt[3]{P_{lt1}^3-P_{lt0}^3} \tag{4-4}$$

式中 P_{lt1}——波动负荷投入时的长时间闪变测量值;

P_{lt0}——背景闪变值,是波动负荷退出时一段时期内的长时间闪变测量值;

P_{lt2}——波动负荷单独引起的长时间闪变值。

波动负荷单独引起的闪变值根据用户负荷大小、其协议用电容量占总供电容量的比例以及电力系统公共连接点的状况,分别按三级作不同的规定和处理。

5.2.2 第一级规定。满足本级规定,可以不往闪变核算允许接入电网。

a)对于 LV 和 MV 用户,第一级限值见表 4-8。

表 4-8 LV 和 MV 用户第一级限值

r/(次/min)	$k=(\Delta S/S_{sc})_{max}$/(%)
$r<10$	0.4
$10\leqslant r\leqslant 200$	0.2
$200<r$	0.1

注:表中 ΔS 为波动负荷视在功率的变动,S_{sc} 为 PCC 短路容量。

b)对于 HV 用户,满足$(\Delta S/S_{sc})max<0.1\%$。

c)满足 $P_{lt}<0.25$ 的单个波动负荷用户。

d)符合《电磁兼容 限值 对每相额定电流≤16A 且无条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制》(GB 17625.2—2007)和《电磁兼容 限值 对额定电流大于 16A 的设备在低压供电系统中产生的电压波动和闪烁的限制》(GB/Z 17625.3—2000)的低压用电设备。

5.2.3 第二级规定。波动负荷单独引起的长时间闪变值须小于该负荷用户的闪变限值。

每个用户按其协议用电容量 S_i($S_i=P_i/\cos\varphi_i$)和总供电容量 S_i 之比,考虑上一级对下一级闪变传递的影响(下一级对上一级的传递一般忽略)等因素后确定该用户的闪变限值。

单个用户闪变限值的计算方法如下：

首先求出接于PCC点的全部负荷产生闪变的总限值G：

$$G=\sqrt[3]{L_{\mathrm{P}}^3-T^3L_{\mathrm{H}}^3} \tag{4-5}$$

式中　L_{p}——PCC点对应电压等级的长时间闪变值P_{lt}限值；

L_{H}——上一电压等级的长时间闪变值i_{lt}限值；

T——上一电压等级对下一电压等级的闪变传递系数，推荐为0.8。不考虑超高压（EHV）系统对下一级电压系统的闪变传递。

单个用户闪变限值E_i为：

$$E_i=G\sqrt[3]{\frac{S_i}{S_{\mathrm{t}}}\cdot\frac{1}{F}} \tag{4-6}$$

式中　F——波动负荷的同时系数，其典型值$F=0.2\sim0.3$（但必须满足$S_i/F\leqslant S_i$），高压（HV）系统PCC总供电容量S_{tHV}确定方法见附录B（原规范中，下同）。

5.2.4　第三级规定。不满足第二级规定的单个波动负荷用户，经过治理后仍超过其闪变限值，可根据PCC点实际闪变状况和电网的发展预测适当放宽限值，但PCC点的闪变值必须符合5.1的规定。

4.4.1.3　公用电网谐波

《电能质量　公用电网谐波》(GB/T 14549—1993)

规范引用

4　谐波电压限值

公用电网谐波电压（相电压）限值见表4-9。

表4-9

电网标称电压/kV	电压总谐波畸变率/(%)	各次谐波电压含有率/(%)	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

5　谐波电流允许值

5.1　公共连接点的全部用户向该点注入的谐波电流分量（方均根值）不应超过表4-10中规定的允许值。当公共连接点处的最小短路容量不同于基准短路容量时，表4-10中的谐波电流允许值的换算见附录B（补充件）。

表 4-10 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压/kV	基准短路容量/MVA	谐波次数及谐波电流允许值/A																							
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9

注:220kV 基准短路容量取 2000MVA。

5.2 同一公共连接点的每个用户向电网注入的谐波电流允许值按此用户在该点的协议容量与其公共连接点的供电设备容量之比进行分配。分配的计算方法见附录 C(补充件)。

4.4.1.4 三相电压不平衡

规范引用 《电能质量 三相电压不平衡》(GB/T 15543—2008)

4 电压不平衡度限值

4.1 电力系统公共连接点电压不平衡度限值为:

电网正常运行时,负序电压不平衡度不超过 2%,短时不得超过 4%;低压系统零序电压限值暂不作规定,但各相电压必须满足《电能质量 供电电压偏差》(GB/T 12325—2008)的要求。

注 1:本标准中不平衡度为在电力系统正常运行的最小方式(或较小方式)下、最大的生产(运行)周期中负荷所引起的电压不平衡度的实测值。

注 2:低压系统是指标称电压不大于 1kV 的供电系统。

4.2 接于公共连接点的每个用户引起该点负序电压不平衡度允许值一般为 1.3%,短时不超过 2.6%。根据连接点的负荷状况以及邻近发电机、继电保护和自动装置安全运行要求,该允许值可作适当变动,但必须满足 4.1 的规定。

4.4.2 改善电能质量的措施

4.4.2.1 供电电压偏差

4.4.2.1.1 电压偏差的原因

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》上

5.2.3 电压偏差的原因与计算

企业用电设备的电压偏差包含地区电网的电压偏差和企业供配电系统自身产生的电压偏差。它们都是由于运行方式和负荷的变化引起的。

地区电网的电压偏差,在一定的运行方式下,电网的电压偏差是由子负荷变化使电网的线路和变压器等主要供电元件的电压损失变化而引起的。

4.4.2.1.2 电压损失计算

《钢铁企业电力设计手册》上

规范引用

引起电压偏差和电压波动的原因，是由于网络中变化的负荷电流通过阻抗元件而造成电压损失的变化，主要是线路和变压器的电压损失的变化。在串联电路中，阻抗元件两端电压矢量的几何差称为电压降，两端电压的代数差称为电压损失。在工程计算中，电压损失可取电压降的横向分量（在工程中习惯上也简称电压降），误差可忽略不计。电压损失按下式计算

$$\Delta u=\frac{I(R\cos\varphi+X\sin\varphi)}{1000} \tag{4-7}$$

通常用相对值（与网络额定电压的比值）或其百分数表示，即

$$\Delta u=\frac{\sqrt{3}I(R\cos\varphi+X\sin\varphi)}{1000U_{\mathrm{N}}}$$

$$=\frac{\sqrt{3}I(R\cos\varphi+X\sin\varphi)}{1000U_{\mathrm{N}}}\times100\% \tag{4-8}$$

式中 Δu——电压损失（%）；

U_{N}——网络的额定线电压（kV）；

I——负荷电流（A）；

$\cos\varphi$——终端负荷的功率因数；

R、X——阻抗元件的电阻和电抗（Ω）。

线路电压损失的计算见表4-11。

表4-11 线路电压损失的计算

线路种类	线路电压损失的计算	符号说明
三相平衡负荷线路	$\Delta u=\frac{\sqrt{3}Il}{10U_{\mathrm{N}}}(R_0\cos\varphi+X_0\sin\varphi)$ $=Il\Delta u_{\mathrm{a}}$ $=\frac{Pl}{10U_{\mathrm{N}}^2}(R_0+X_0\mathrm{tg}\varphi)$ $=Pt\Delta u_{\mathrm{p}}$	Δu——线路电压损失，% U_{N}——线路额定电流，kV I——负荷电流，A $\cos\varphi$——负荷功率因数 P——负荷的有功功率，kW l——线路长度，km R_0、X_0——三相线路单位长度的电阻和电抗，Ω/km Δu_{a}——三相线路单位电流长度的电压损失，%/A·km Δu_{p}——三相线路单位功率长度的电压损失，%kW·km
线电压的单相负荷线路	$\Delta u=\frac{2Il}{10U_{\mathrm{N}}}(R_0\cos\varphi+X_0\sin\varphi)$ $\approx1.15It\Delta u_{\mathrm{a}}$ $=\frac{2Pl}{10U_{\mathrm{N}}^2}(R_0+X_0\mathrm{tg}\varphi)$ $=2Pt\Delta u_{\mathrm{p}}$	
相电压的单相负荷线路	$\Delta u=\frac{2\sqrt{3}Il}{10U_{\mathrm{N}}}(R_0\cos\varphi+X_0\sin\varphi)$ $=2It\Delta u_{\mathrm{a}}$ $=\frac{6Pl}{10U_{\mathrm{N}}^2}(R_0+X_0\mathrm{tg}\varphi)$ $=6Pt\Delta u_{\mathrm{p}}$	

注：单相负荷线路中应用单相线路单位长度电抗进行计算。用三相线路单位长度电抗计算其误差不大，在工程计算中可以忽略。

变压器电压损失按下式计算

$$\Delta u_T=\beta(u_r\cos\varphi+u_k\sin\varphi)+\frac{\beta^2}{200}(u_r\sin\varphi+u_x\cos\varphi)^2$$

$$\approx\beta(u_r\cos\varphi+u_k\sin\varphi)=\frac{P_{ur}+Q_{ux}}{S_{NT}} \tag{4-9}$$

式中 Δu_T——变压器电压损失(%)；

S_{NT}——变压器的额定容量(kVA)；

u_r——变压器阻抗电压的有功分量，$u_r=\dfrac{100\Delta P}{S_{NT}}$，%；

u_x——变压器阻抗电压的无功分量，$u_x=\sqrt{u_k^2-u_r^2}$，%；

u_k——变压器的阻抗电压(%)；

ΔP_D——变压器的短路损耗(kW)；

β——变压器的负荷率，即实际负荷与额定容量 S_{NT} 的比值；

$\cos\varphi$——负荷的功率因数；

P——三相负荷的有功功率(kW)；

Q——三相负荷的无功功率(kvar)。

4.4.2.1.3 电压偏差计算

《钢铁企业电力设计手册》上

规范引用

如果在某段时间内线路(或其他阻抗元件)首端的电压偏差为 Δu_1，线路电压损失为 Δu_1，则线路末端电压偏差为

$$\Delta u_\tau=\Delta u_1-\Delta u_i \tag{4-10}$$

当有变压器成其他调压设备时，还应计入其电压提升，即

$$\Delta u_t=\Delta u_1+e-\sum\Delta u \tag{4-11}$$

式中 Δu_1——线路首端的电压偏差(%)；

$\sum\Delta u$——回路中电压损失总和(高压线路和变压器及低压线路的电压损失的总和)(%)；

e——变压器的电压提升(%)。

常用配电变压器调压抽头与二次空载电压和电压提升的关系见表 4-12。

表 4-12 常用配电变压器调压抽头与二次空载电压和电压提升的关系

10(6)±5%/0.4kV 变压器调压抽头		+5%	0	−5%
10.5(6.3)±5%/0.4kV 变压器调压抽头	+5%	0	−5%	
变压器调压抽头位置的电压/kV	11(6.6)	10.5(6.3)	10(6)	9.5(5.7)
变压器二次空载电压/V	360	380	400	420
电压提升 e	−5%	0	+5%	+10%

注：表中数据为变压器运行在 10(6)kV 额定电压下的计算值。

4.4.2.1.4 电压偏差对用电设备的影响

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》上



5.2.2 电压偏差对用电设备的影响

用电设备电压实际值偏离额定值，将直接影响其性能，并可能造成某些损失。影响程度因偏差大小及其持续时间长短而异。

5.2.2.1 异步电动机

当异步电动机端子电压为负偏差时，负荷电流的增大以及启动转距、最大转矩和最大过负荷能力的减小都很显著，严重时甚至不能启动或堵转；而当电压为正偏差时，转矩增加，严重情况下，可能导致联轴器剪断，或者损坏设备。

5.2.2.2 同步电动机

电压偏差对同步电动机的影响和异步电动机相似，端电压变化虽不引起同步电动机的转速变动，然而，其启动转矩与端电压平方成正比变化，而其最大转矩（拖出转矩）直接与端电压成正比变化，即端电压变化－10%或＋10%最大转矩也相应变化－10%或＋10%。如果同步电动机励磁电流由晶闸管整流器供给，且整流器交流侧电源是与同步电动机共同的，则其最大转矩将与端电压的平方成正比变化。

5.2.2.3 电热设备

电阻炉热能输出与外施电压平方成正比变化，端电压降低10%，热能输出降低19%；端电压升高10%，热能输出升高21%，此种关系只有在整个运行期间，电阻保持常数，才是正确的。当电压降低时，熔化和加热时间显著延长，严重降低生产率。

5.2.2.4 红外线加热器

虽然红外线加热器装置的灯丝是电阻型的，但是电压变化的同时，电阻也起变化，所以其能量输出略小于电压平方而变化。在加热过程中，电压变化产生不需要的热效能变化，因而需要恒温控制或其他恒压调节设备。

5.2.2.5 白炽灯

电压过高时白炽灯的寿命急剧缩短，电压偏低时白炽灯的光通量显著减少。

5.2.2.6 气体放电灯

荧光灯的光通量大约与其端电压平方成正比。端电压降低10%，光通量降低20%；端电压升高10%，光通量升高22%。当电压偏差为－10%及以下时，起辉将发生困难。当电压偏差超过＋10%时，镇流器将过热而缩短寿命。对于灯管本身，电压升高10%，使用寿命降低20%，电压降低10%，使用寿命降低35%。灯泡、灯管的使用寿命是指其在光效下降到初始值的70%时的燃用时间。

高压水银荧光灯的光通量大约与其端电压立方成正比。端电压降低10%，光通量降低27%；端电压升高10%，光通量升高30%。由于水银汽化的原因，水银灯启动后达到完全的亮度，需要4～8min。当电压偏差达－30%时，水银弧光就将熄灭，而且直至水银冷却前不能再启动，这个时间间隔大约需要5～10min。这对于没有特殊冷却控制的灯泡都是一样的。水银灯的寿命与其启动次数有关。如果在电压降低的条件下，要求重新启动，则灯泡寿命就相应地受到影响。端电压过高，则电弧温度升高，当温度接近玻璃软化点时，就将危及密封玻璃壳。

金属卤化物灯的光通量与电压大约成立方正比关系。端电压降低10%，光通量降低

27%;端电压升高 10%,光通量升高 30%。

高压钠灯的光通量与电压的关系为:端电压降低 10%,光通量降低 37%;端电压升高 10%,光通量升高 50%。

5.2.2.7 移相电容器

电容器输出无功功率与电压平方成正比,电压偏差-10%,输出无功功率降低 19%;电压偏差+10%,输出无功功率增加 21%。电压偏差不超过+5%电容器可长期运行,若电压偏差长期超过+5%,将因过负荷引起移相电容器内部热量增加,绝缘老化加速,介质损失角增大,造成过热而击穿。电压偏差不超过+10%电容器只能短时运行,长期超过 10%是不容许的。

5.2.2.8 电阻焊机

当电压正偏差过大时,将使焊接处热量过多而造成焊件过熔,负偏差过大则影响焊机输出功率,使焊接热量不够而造成虚焊。

4.4.2.2 电压波动和闪变

4.4.2.2.1 电压波动和闪变的产生原因

电压波动是由波动负荷引起的,工业企业主要的波动负荷有如下几种。

炼钢电弧炉。电弧炉工作在熔化期,由于废钢的不规律性,容易发生塌料引起工作短路,因此其运行工作点经常在正常运行点和工作短路点之间变化,工作短路时功率因数很低,故引起无功功率的急剧变化。

整流电源与直流传动。用直流电动机传动轧机时,如用晶闸管相位控制进行整流器输出电压的调整,在额定转速下,功率因数一般在 0.7 左右,当轧制工艺需要低速咬钢、带钢升速时,由于低速咬钢时的功率因数很低,咬钢后又快速升速,引起大量无功功率冲击。

循环变流器负荷。用循环变流器即交-交变频器直接供电的传动负荷,变频器的输出频率一般为 0~20Hz,在额定转速下,功率因数约为 0.7,在需要低速咬钢、带钢升速的轧制工艺时,如同整流器向直流电动机供电一样,也引起大量的无功功率冲击。

电阻焊机和电弧焊机。大功率的电阻焊机和电弧焊机系间歇通电的负荷,工作时也会引起配电母线的电压波动和闪变。

4.4.2.2.2 电压波动和闪变的危害

电气照明灯光的闪烁,引起人的视觉疲劳甚至难以忍受。

电动机转速不均匀,影响产品质量,甚至损坏电动机。

电压波动会使电子控制系统失灵。

4.4.2.2.3 改善电压波动和闪变的措施

将均匀颗粒的废钢加入炉内或将大块废钢加以破碎以减少发生工作短路的概率。

将冲击性负荷由专线专用变压器供电,并接入较高电压等级的供电系统,因电压越高,短路容量越大,越能承受冲击负荷。

装设静补装置(SVC)。静态装置能跟踪电网或负荷的波动,进行随机性适时补偿,从而维持电压稳定,常用的有以下三种类型:

自饱和电抗器型(SSR);

相控电抗器型(TCR);

晶闸管投切电容器型(TSC)。

冶金企业目前用得最多的是相控电抗器型,它是由晶闸管组、线性电抗器、控制器和各

次谐波滤波器组成的。根据负荷的特性，该系统可实现三相同时控制、分相控制和三相平衡化等功能，对抑制高次谐波电流、抑制负序电流、校正功率因数及降低电压波动和闪变具有显著的效果。

4.4.2.3　谐波

参考 2.3 节相关内容。

4.4.2.4　三相不平衡

参考 2.3 节相关内容

4.5　无功补偿设计要求

4.5.1　无功补偿设计



《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)



6.0.1　供配电系统设计中应正确选择电动机、变压器的容量，并应降低线路感抗。当工艺条件允许时，宜采用同步电动机或选用带空载切除的间歇工作制设备。

6.0.2　当采用提高自然功率因数措施后，仍达不到电网合理运行要求时，应采用并联电力电容器作为无功补偿装置。

6.0.3　用户端的功率因数值，应符合国家现行标准的有关规定。

6.0.4　采用并联电力电容器作为无功补偿装置时，宜就地平衡补偿，并符合下列要求：

1. 低压部分的无功功率，应由低压电容器补偿。
2. 高压部分的无功功率，宜由高压电容器补偿。
3. 容量较大、负荷平稳且经常使用的用电设备的无功功率，宜单独就地补偿。
4. 补偿基本无功功率的电容器组，应在配变电所内集中补偿。
5. 在环境正常的建筑物内，低压电容器宜分散设置。

6.0.5　无功补偿容量，宜按无功功率曲线或按以下公式确定：

$$Q_C = P(\tan\Phi_1 - \tan\Phi_2) \tag{4-12}$$

式中　Q_C——无功补偿容量(kvar)；

P——用电设备的计算有功功率(kW)；

$\tan\Phi_1$——补偿前用电设备自然功率因数的正切值；

$\tan\Phi_2$——补偿后用电设备功率因数的正切值，取不小于 0.9 的值。

6.0.6　基本无功补偿容量，应符合以下表达式的要求：

$$Q_{Cmin} < P_{min}\tan\Phi_{1min} \tag{4-13}$$

式中　Q_{Cmin}——基本无功补偿容量(kvar)；

P_{min}——用电设备最小负荷时的有功功率(kW)；

$\tan\Phi_{1min}$——用电设备在最小负荷下，补偿前功率因数的正切值。

6.0.7　无功补偿装置的投切方式，具有下列情况之一时，宜采用手动投切的无功补偿

装置：

1. 补偿低压基本无功功率的电容器组。

2. 常年稳定的无功功率。

3. 经常投入运行的变压器或每天投切次数少于三次的高压电动机及高压电容器组。

6.0.8 无功补偿装置的投切方式，具有下列情况之一时，宜装设无功自动补偿装置：

1. 避免过补偿，装设无功自动补偿装置在经济上合理时。

2. 避免在轻载时电压过高，造成某些用电设备损坏，而装设无功自动补偿装置在经济上合理时。

3. 只有装设无功自动补偿装置才能满足在各种运行负荷的情况下的电压偏差允许值时。

6.0.9 当采用高、低压自动补偿装置效果相同时，宜采用低压自动补偿装置。

6.0.10 无功自动补偿的调节方式，宜根据下列要求确定：

1. 以节能为主进行补偿时，宜采用无功功率参数调节；当三相负荷平衡时，亦可采用功率因数参数调节。

2. 提供维持电网电压水平所必要的无功功率及以减少电压偏差为主进行补偿时，应按电压参数调节，但已采用变压器自动调压者除外。

3. 无功功率随时间稳定变化时，宜按时间参数调节。

6.0.11 电容器分组时，应满足下列要求：

1. 分组电容器投切时，不应产生谐振。

2. 应适当减少分组组数和加大分组容量。

3. 应与配套设备的技术参数相适应。

4. 应符合满足电压偏差的允许范围。

6.0.12 接在电动机控制设备侧电容器的额定电流，不应超过电动机励磁电流的0.9倍；过电流保护装置的整定值，应按电动机电容器组的电流确定。

6.0.13 高压电容器组宜根据预期的涌流采取相应的限流措施。低压电容器组宜加大投切容量且采用专用投切器件。在受谐波量较大的用电设备影响的线路上装设电容器组时，宜串联电抗器。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

3.6.1 应合理选择变压器容量、线缆及敷设方式等措施，减少线路感抗以提高用户的自然功率因数。当采用提高自然功率因数措施后仍达不到要求时，应进行无功补偿。

3.6.2 10(6)kV及以下无功补偿宜在配电变压器低压侧集中补偿，且功率因数不宜低于0.9。高压侧的功率因数指标，应符合当地供电部门的规定。

3.6.3 补偿基本无功功率的电容器组，宜在配变电所内集中补偿。容量较大、负荷平稳且经常使用的用电设备的无功功率宜单独就地补偿。

3.6.4 具有下列情况之一时，宜采用手动投切的无功补偿装置：

1. 补偿低压基本无功功率的电容器组；

2. 常年稳定的无功功率；

3. 经常投入运行的变压器或配、变电所内投切次数较少的10kV电容器组。

3.6.5 具有下列情况之一时，宜采用无功自动补偿装置：

1. 避免过补偿，装设无功自动补偿装置在经济上合理时；

2. 避免在轻载时电压过高，而装设无功自动补偿装置在经济上不合理时；

3. 应满足在所有负荷情况下都能保持电压水平基本稳定，只有装设无功自动补偿装置才能达到要求时。

3.6.6 无功自动补偿宜采用功率因数调节原则，并应满足电压调整率的要求。

3.6.7 电容器分组时，应符合下列要求：

1. 分组电容器投切时，不应产生谐振；

2. 适当减少分组数量和加大分组容量；

3. 应与配套设备的技术参数相适应；

4. 应满足电压偏差的允许范围。

3.6.8 接在电动机控制设备负荷侧的电容器容量，不应超过为提高电动机空载功率因数到0.9所需的数值，其过电流保护装置的整定值，应按电动机—电容器组的电流来选择，并应符合下列要求：

1. 电动机仍在继续运转并产生相当大的反电势时，不应再启动；

2. 不应采用星—三角启动器；

3. 对电梯等经常出现负力下放处于发电运行状态的机械设备电动机，不应采用电容器单独就地补偿。

3.6.9 10(6)kV电容器组宜串联适当参数的电抗器。有谐波源的用户在装设低压电容器时，宜采取措施，避免谐波污染。

规范引用 **《35～110kV变电所设计规范》(GB 50059—2011)**

3.4.1 变电站无功功率补偿装置型式和容量的确定，应按无功的分布情况、无功功率的大小、无功功率的波动幅度和波动频率，用户谐波电流的发生量和所接入电网的背景谐波值，由供配电系统设计进行行统筹安排。

3.4.2 无功补偿装置的设计应符合现行国家标准《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)的有关规定。

3.4.3 变电站应装设并联电容器装置，必要时应装设交流谐波滤波装置或能根据无功负荷波动自动进行快速调节补偿容量的静补装置。

4.5.2 无功补偿装置的设计要求

4.5.2.1 接入电网基本要求

规范引用 **《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)**

3.0.1 并联电容器装置接入电网的设计，应按全面规划、合理布局、分层分区补偿、就地平衡的原则确定最优补偿容量和分布方式。

3.0.2 变电站的电容器安装容量，应根据本地区电网无功规划和国家现行标准中有关规定经计算后确定，也可根据有关规定按变压器容量进行估算。用户的并联电容器安装容

量,应满足就地平衡的要求。

3.0.3 并联电容器分组容量的确定应符合下列规定:

1. 在电容器分组投切时,母线电压波动应满足国家现行有关标准的要求,应满足系统无功功率和电压调控要求。

2. 当分组电容器按各种容量组合运行时,应避开谐振容量,不发生谐波的严重放大和谐振,电容器支路的接入所引起的各侧母线的任何一次谐波量均不应超过现行国家标准《电能质量 公用电网谐波》(GB/T 14549—1993)的有关规定。

3. 发生谐振的电容器容量,可按下式计算:

$$Q_{cx}=S_d\left(\frac{1}{n^2}-K\right) \tag{4-14}$$

式中 Q_{cx}——发生 n 次谐波谐振的电容器容量(Mvar);

S_d——并联电容器装置安装处的母线短路容量(MV·A);

n——谐波次数,即谐波频率与电网基波频率之比;

K——电抗率。

3.0.4 并联电容器装置宜装设在变压器的主要负荷侧。当不具备条件时,可装设在三绕组变压器的低压侧。

3.0.5 当配电站中无高压负荷时,不宜在高压侧装设并联电容器装置。

3.0.6 低压并联电容器装置的安装地点和装设容量,应根据分散补偿和就地平衡的原则设置,并不得向电网倒送无功。

4.5.2.2 电气接线

《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)

4.1.1 并联电容器装置的各分组回路可采用直接接入母线,经总回路接入变压器的接线方式(见图 4-6 和图 4-7)。当同级电压母线上有供电线路,经技术经济比较合理时,也可采用设置电容器专用母线的接线方式(见图 4-8)。

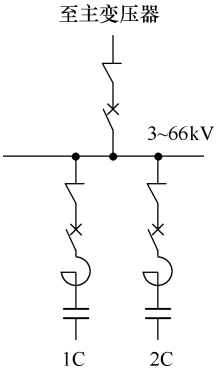


图 4-6 同级电压母线上无供电线路时的接线方式

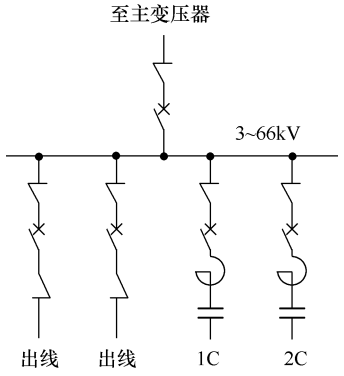
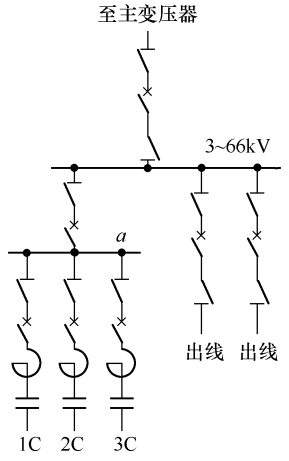


图 4-7 同级电压母线上有供电线路时的接线方式



a—电容器专用母线

图 4-8 设置电容器专用母线的接线方式

4.1.2 并联电容器组的接线方式应符合下列规定：

1. 并联电容器组应采用星形接线。在中性点非直接接地的电网中，星形接线电容器组的中性点不应接地。

2. 并联电容器组的每相或每个桥臂，由多台电容器串并联组合连接时，宜采用先并联后串联的连接方式。

3. 每个串联段的电容器并联总容最不应超过 3900kvar。

4.1.3 低压并联电容器装置可与低压供电柜同接一条母线。低压电容器或电容器组，可采用三角形接线或星形接线方式。

4.2.1 并联电容器装置应装设下列配套设备(见图 4-9)

1. 隔离开关、断路器；

2. 串联电抗器(含阻尼式限流器)；

3. 操作过电压保护用避雷器；

4. 接地开关；

5. 放电器件；

6. 继电保护、控制、信号和电测量用一次及二次设备；

7. 单台电容器保护用外熔断器，应根据保护需要和单台电容器容量配置。

4.2.2 并联电容器装置分组回路的断路器，应装设于电容器组的电源侧。

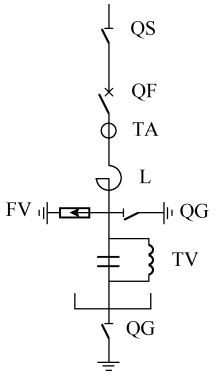


图 4-9 并联电容器组与配套设备连接方式

4.2.3 并联电容器装置的串联电抗器宜装设于电容器的电源侧,应校验其耐受短路电流的能力。当油浸式铁芯电抗器和干式铁芯电抗器的耐受短路电流的能力不能满足装设电源侧时,应装设于中性点侧。

4.2.4 电容器配置外熔断器时,每台电容器应配置一个专用熔断器。

4.2.5 电容器的外壳直接接地时,外熔断器应串接在电容器的电源侧。电容器装设于绝缘框(台)架上且串联段数为 2 段及以上时,至少应有一个串联段的外熔断器串接于电容器的电源侧。

4.2.6 并联电容器装置的放电线圈接线应符合下列规定:

1. 放电线圈与电容器宜采用直接并联接线。

2. 严禁放电线圈一次绕组中性点接地。

4.2.7 并联电容器装置宜在其电源侧和中性点侧设置检修接地开关,当中性点侧装设接地开关有困难时,也可采用其他检修接地措施。

4.2.8 并联电容器装置应装设抑制操作过电压的避雷器,避雷器连接方式应符合下列规定:

1. 避雷器连接应采用相对地方式(见图 4-10)。

2. 避雷器接入位置应紧靠电容器组的电源侧。

3. 不采用三台避雷器星形连接后经第四台避雷器接地的接线方式。

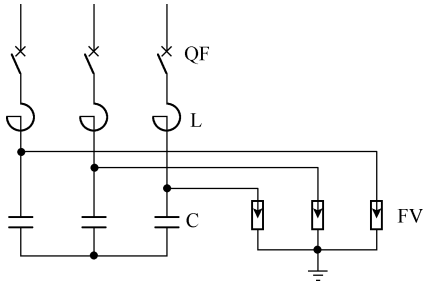


图 4-10 相对地避雷器接线

4.2.9 低压并联电容器装置宜装设下列配套元件(见图 4-11)。当采用的电容器投切器件具有限制涌流功能和电容器柜有谐波超值保护时,可不装设限流线圈和过载保护器件:

1. 总回路刀开关和分回路投切器件;

2. 操作过电压保护用避雷器;

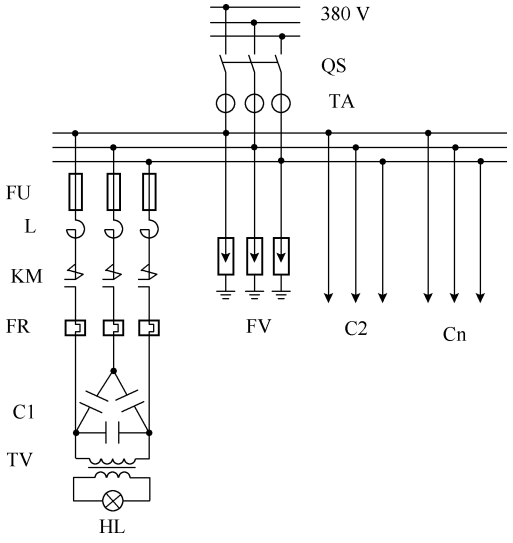
3. 短路保护用熔断器；

4. 过载保护器件；

5. 限流线圈；

6. 放电器件；

7. 谐波含量超限保护、自动投切控制器、保护元件、信号和测量表计等配套器件。



注：回路元件配置同图左侧

图 4-11　低压并联电容器装置元件配置接线

4.2.10　低压电容器装设的外部放电器件，可采用三角形接线或星形接线，应直接与电容器(组)并联连接。

4.5.2.3　电器和导体选择

《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)

5.1　一般规定

5.1.1　并联电容器装置的设备选型，应根据下列条件确定：

1. 电网电压、电容器运行工况；

2. 电网谐波水平；

3. 母线短路电流；

4. 电容器对短路电流的助增效应；

5. 补偿容量和扩建规划、接线、保护及电容器组投切方式；

6. 海拔高度、气温、湿度、污秽和地震烈度等环境条件；

7. 布置与安装方式；

8. 产品技术条件和产品标准。

5.1.2　并联电容器装置的电器和导体选择，应满足在当地环境条件下正常运行、过电压状态和短路故障的要求。

5.1.3　并联电容器装置总回路和分组回路的电器导体选择时，回路工作电流应按稳态过电流最大值确定，过电流倍数应为回路额定电流的 1.3 倍。

5.1.4 并联电容器装置的电气设备绝缘水平,不应低于变电站、配电站(室)中同级电压的其他电气设备。

5.1.5 制造厂生产的并联电容器成套装置,其组合结构应便于运输、现场安装、运行检修和试验,应使组装后的整体技术性能满足使用要求。

5.2 电容器

5.2.1 电容器选型应符合下列规定:

1. 组成并联电容器装置的电容器,可选用单台电容器、集合式电容器、自愈式电容器。单组容量较大时,宜选用单台容量为500kvar及以上的电容器。

2. 电容器的温度类别应根据安装地点的环境空气温度或屋内冷却空气温度选择。

3. 安装在严寒、高海拔、湿热带等地区和污秽、易燃、易爆等环境中的电容器,应满足环境条件的特殊要求。

5.2.2 电容器额定电压选择,应符合下列要求:

1. 宜按电容器接入电网处的运行电压进行计算。

2. 电容器应能承受1.1倍长期工频过电压。

3. 应计入串联电抗器引起的电容器运行电压升高。接入串联电抗器后,电容器运行电压应按下式计算:

$$U_c=\frac{U_s}{\sqrt{3}S}\cdot\frac{1}{1-K} \tag{4-15}$$

式中 U_c——电容器的运行电压(kV);

U_s——并联电容器装置的母线运行电压(kV);

S——电容器组每相的串联段数;

K——电抗率。

5.2.3 电容器的绝缘水平,应按电容器接入电网处的电压等级、由电容器组接线方式确定的串并联组合、安装方式要求等,根据电容器产品标准选取。

5.2.4 单台电容器额定容量选择,应根据电容器组容量和每相电容器的串联段数和并联台数确定,宜在电容器产品额定容量系列的优先值中选取。

5.2.5 低压电容器设备选择,应根据环境条件和使用技术要求选择低压并联电容器装置。

5.3 断路器

5.3.1 用于并联电容器装置的断路器选型,应采用真空断路器SF_6断路器等适合于电容器组投切的设备,其技术性能应符合断路器共用技术要求,还应满足下列特殊要求:

1. 应具备频繁操作的性能。

2. 合、分时触头弹跳不应大于限定值,开断时不应出现重击穿。

3. 应能承受电容器组的关合涌流和工频短路电流以及电容器高频涌流的联合作用。

5.3.2 并联电容器装置总回路中的断路器,应具有切除所连接的全部电容器组和开断总回路短路电流的性能。分组回路断路器可采用不承担开断短路电流的开关设备。

5.3.3 低压并联电容器装置中的投切开关宜采用具有选项功能和功耗较小的开关器件。当采用普通开关时,其接通、分断能力和短路强度等技术性能,应符合设备装设点的电网条件;切除电容器时,开关不应发生重击穿;投切开关应具有频繁操作的性能。

5.4 熔断器

5.4.1 用于单台电容器保护的外熔断器选型时，应采用电容器专用熔断器。

5.4.2 用于单台电容器保护的外熔断器的熔丝额定电流，应按电容器额定电流的1.37～1.50倍选择。

5.4.3 用于单台电容器保护的外熔断器的额定电压、耐受电压、开断性能、熔断性能、耐爆能量、抗涌流能力、机械强度和电气寿命等，应符合国家现行有关标准的规定。

5.5 串联电抗器

5.5.1 串联电抗器选型时，选用干式电抗器或油浸式电抗器，应根据工程条件经技术经济比较确定。

安装在屋内的串联电抗器，宜采用设备外漏磁场较弱的干式铁芯电抗器或类似产品。

5.5.2 串联电抗器电抗率选择，应根据电网条件与电容器参数经相关计算分析确定，电抗率取值范围应符合下列规定：

1. 仅用于限制涌流时，电抗率宜取0.1%～1.0%。

2. 用于抑制谐波时，电抗率应根据并联电容器装置接入电网处的背景谐波含量的测量值选择。当谐波为5次及以上时，电抗率宜取4.5%～5.0%；当谐波为3次及以上时，电抗率宜取12%，亦可采用4.5%～5.0%与12%两种电抗率混装方式。

5.5.3 并联电容器装置的合闸涌流限值，宜取电容器组额定电流的20倍；当超过时，应采用装设串联电抗器的方式予以限制。电容器组投入电网时的涌流计算，应符合《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)附录A的规定。

5.5.4 串联电抗器的额定电压和绝缘水平，应符合接入处的电网电压要求。

5.5.5 串联电抗器的额定电流应等于所连接的并联电容器组的额定电流，其允许过电流不应小于并联电容器组的最大过电流值。

5.5.6 并联电容器装置总回路装设有限流电抗器时，应计入其对电容器分组回路电抗率和母线电压的影响。

5.6 放电器件

5.6.1 放电线圈选型时，应采用电容器组专用的油浸式或干式放电线圈产品。油浸式放电线圈应为全密封结构，产品内部压力应满足使用环境温度变化的要求，在最低环境温度下运行时不出现负压。

5.6.2 放电线圈的额定一次电压应与所并联的电容器组的额定电压一致。

5.6.3 放电线圈的额定绝缘水平应符合下列要求：

1. 安装在地面上的放电线圈，额定绝缘水平不应低于同电压等级电气设备的额定绝缘水平；

2. 安装在绝缘框(台)架上的放电线圈，其额定绝缘水平应与安装在同一绝缘框(台)上的电容器的额定绝缘水平一致。

5.6.4 放电线圈的最大配套电容器容量(放电容量)，不应小于与其并联的电容器组容量；放电线圈的放电时间应能满足电容器组脱开电源后，在5s内将电容器组的剩余电压降至50V及以下的要求。

5.6.5 放电线圈带有二次线圈时，其额定输出、准确级，应满足保护和测量的要求。

5.6.6 低压并联电容器装置的放电器件应满足电容器断电后，在3min内将电容器的剩余电压降至50V及以下的要求；当电容器再次投入时，电容器端子上的剩余电压不应超过额定电压的0.1倍。

5.7 避雷器

5.7.1 用于并联电容器装置操作过电压保护的避雷器,应采用无间隙金属氧化避雷器。

5.7.2 用于并联电容器操作过电压保护的避雷器的参数选择,应根据电容器组参数和避雷器接线方式确定。

5.8 导体及其他

5.8.1 单台电容器至母线或熔断器的连接线应采用软导线,其长期允许电流不宜小于单台电容器额定电流的1.5倍。

5.8.2 并联电容器装置的分组回路,回路导体截面应按并联电容器组额定电流的1.3倍选择,并联电容器组的汇流母线和均压线导线截面应与分组回路的导体截面相同。

5.8.3 双星形电容器组的中性点连接线和桥形接线电容器组的桥连接线,其长期允许电流不应小于电容器组的额定电流。

5.8.4 并联电容器装置的所有连接导体应满足长期允许电流的要求,应满足动稳定和热稳定要求。

5.8.5 用于并联电容器装置的支柱绝缘子,应按电压等级、泄漏距离、机械荷载等技术条件,以及运行中可能承受的最高电压选择和校验。

5.8.6 用于并联电容器组不平衡保护的电流互感器或放电线圈,应符合下列要求:

1. 额定电压应按接入处的电网电压选择。

2. 额定电流不应小于最大稳态不平衡电流。

3. 电流互感器应能耐受电容器极间短路故障状态下的短路电流和高频涌放电流,不损坏,宜加装保护措施。

4. 次线圈准确等级应满足继电保护要求。

4.5.2.4 保护装置和投切装置

规范引用 《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)

6.1 保护装置

6.1.1 单台电容器内部故障保护方式(内熔丝、外熔断器和继电保护),应在满足并联电容器组安全运行的条件下,根据各地的实践经验配置。

6.1.2 并联电容器组(内熔丝、外熔断器和无熔丝)均应设置不平衡保护。不平衡保护应满足可靠性和灵敏度要求,保护方式可根据电容器组接线在下列方式中选取:

1. 单星形电容器组,可采用开口三角电压保护(见图4-12)。

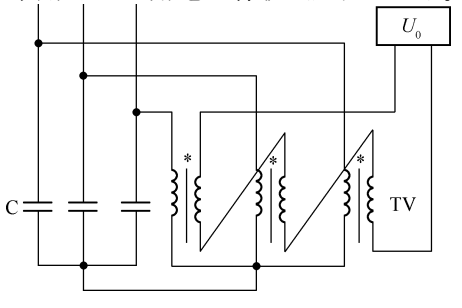


图4-12 单星形电容器组开口三角电压保护原理接线

2. 单星形电容器组，串联段数为两段及以上时，可采用相电压差动保护（见图4-13）。

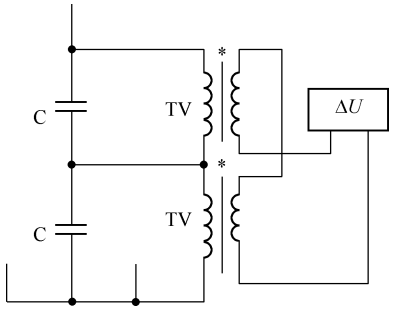


图4-13 单星形电容器组相电压差动保护原理接线

3. 单星形电容器组，每相能接成四个桥臂时，可采用桥式差电流保护（见图4-14）。

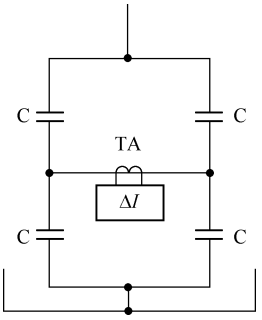


图4-14 单星形电容器组桥式差电流保护原理接线

4. 双星形电容器组，可采用中性点不平衡电流保护（见图4-15）。

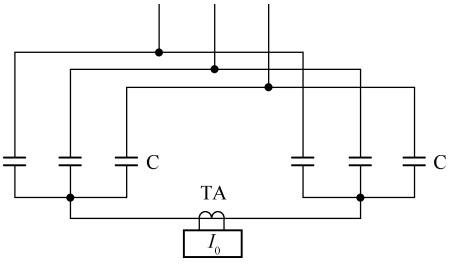


图4-15 双星形电容器组中性点不平衡电流保护原理接线

5. 不平衡保护的整定值应按电容器组运行的安全性、保护动作的可靠性和灵敏性，根据不同保护方式通过计算确定。

6.1.3 并联电容器装置应设置速断保护，保护应动作于跳闸。速断保护的动作电流值，按最小运行方式下，在电容器组端部引线发生两相短路时，保护的灵敏系数应符合继电保护要求；速断保护的动作时限，应大于电容器组的合闸涌流时间。

6.1.4 并联电容器装置应装设过电流保护，保护应动作于跳闸。过流保护的动作电流值，应按大于电容器组的长期允许最大过电流整定。

6.1.5 并联电容器装置应装设母线过电压保护，保护应带时限动作于信号或跳闸。

6.1.6 并联电容器装置应装设母线失压保护，保护应带时限动作于跳闸。

6.1.7 并联电容器装置的油浸式串联电抗器，其容量为0.18MV·A及以上时，宜装设瓦斯保护。当油箱内故障产生轻微瓦斯或油面下降时，应瞬时动作于信号；当油箱内故障产生大量瓦斯时，应瞬时动作于断路器跳闸。

干式串联电抗器,宜根据具体条件设置保护。

6.1.8 电容器组的电容器外壳直接接地时,宜装设电容器组接地保护。

6.1.9 集合式电容器应装设压力释放和温控保护,压力释放动作于跳闸,温控动作于信号。

6.1.10 低压并联电容器装置,应有短路保护、过电流保护、过电压保护和失压保护,宜装设谐波超值保护。

6.2 投切装置

6.2.1 并联电容器装置宜采用自动投切方式,应符合下列规定:

1. 变电站的并联电容器装置,可采用按电压、无功功率和时间等组合条件的自动投切方式。

2. 变电站的主变压器具有有载调压装置时,自动投切方式的电容器装置可与变压器分接头进行联合调节,但应对变压器分接头调节方式进行系统电压闭锁或与系统交换无功功率优化闭锁。

3. 对于不需要按综合条件投切的并联电容器装置,可分别采用电压、无功功率(电流)、功率因数或时间进行自动投切控制。

6.2.2 自动投切装置应具有防止保护跳闸时误合电容器组的闭锁功能,应根据运行需要具有控制、调节、闭锁、联络和保护功能;同时应设置改变投切方式的选择开关。

6.2.3 变电站中有两种电抗率的并联电容器装置时,其中12%的装置应具有先投后切的功能。

6.2.4 并联电容器的投切装置严禁设置自动重合闸。

6.2.5 低压并联电容器装置应采用自动投切。自动投切的控制量可选用无功功率、电压、时间等参数。

4.5.2.5 控制回路、信号回路和测量仪表

规范引用 《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)

7.1 控制回路、信号回路

7.1.1 并联电容器装置,应根据变电站的综合自动化设备配置对其进行监控。

7.1.2 并联电容器装置的断路器与相应的隔离开关和接地开关之间,应设置闭锁装置。

7.1.3 并联电容器装置,应设置断路器的位置信号、运行异常的预告信号和事故跳闸的信号。

7.1.4 低压并联电容器装置,可采用就地控制。控制器宜采用具有智能型的数字化产品。当采用普通型控制器时,应设置电容器投入和切除的信号。低压并联电容器装置宜设置内部故障预告信号。

7.2 测量仪表

7.2.1 并联电容器装置所连接的母线,应装设一个切换测量线电压的电压表。

7.2.2 并联电容器装置的总回路,应装设无功功率表(或功率因数表)、无功电度表。每相应装设一个电流表。

7.2.3 当总回路下面连接有并联电容器和并联电抗器时,总回路装设的无功功率表应

为双向测量无功功率，应装设分别计量容性和感性的无功电度表。

7.2.4　并联电容器装置的分组回路中，可仅设一个电流表。当并联电容器装置与供电线路同接在一条母线时，宜在并联电容器装置的分组回路中装设无功电度表。

7.2.5　并联电容器装置的总回路与分组回路，其测量回路接入微机监控系统时，总回路与分组回路可不再装设测量表计。

7.2.6　低压并联电容器装置，应装设电流表、电压表及功率因数表。当投切控制器具有电流、电压和功率因数显示功能时，可不再装设电流表、电压表及功率因数表计。

4.6　抑制谐波的措施

参考2.1节的相关内容。

4.7　电压偏差的要求及改善措施

4.7.1　电压偏差的要求

规范引用　《供配电系统设计规范》(GB 50052—2009)

5.0.4　正常运行情况下，用电设备端子处电压偏差允许值宜符合下列要求：

1. 电动机为±5%额定电压。

2. 照明：在一般工作场所为±5%额定电压；对于远离变电所的小面积一般工作场所，难以满足上述要求时，可为+5%，−10%额定电压；应急照明、道路照明和警卫照明等为+5%，−10%额定电压。

3. 其他用电设备当无特殊规定时为±5%额定电压。

5.0.5　计算电压偏差时，应计入采取下列措施后的调压效果：

1. 自动或手动调整并联补偿电容器、并联电抗器的接入容量。

2. 自动或手动调整同步电动机的励磁电流。

3. 改变供配电系统运行方式。

4.7.2　电压偏差的限值

参考4.4节相关内容。

4.7.3　改善电压偏差的措施

参见2.3节相关内容。

5 110kV及以下变配电所所址选择和电气设备布置

5.1 变配电所所址选择的基本要求

5.1.1 20kV及以下变电所所址选择

规范引用 《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)



2.0.1 变电所的所址应根据下列要求，经技术经济等因素综合分析和比较后确定：

1. 宜接近负荷中心；

2. 宜接近电源侧；

3. 应方便进出线；

4. 应方便设备运输；

5. 不应设在有剧烈振动或高温的场所；

6. 不宜设在多尘或有腐蚀性物质的场所，当无法远离时，不应设在污染源盛行风向的下风侧，或应采取有效的防护措施；

7. 不应设在厕所、浴室、厨房或其他经常积水场所的正下方处，也不宜设在与上述场所相贴邻的地方，当贴邻时，相邻的隔墙应做无渗漏、无结露的防水处理；

8. 当与有爆炸或火灾危险的建筑物毗连时，变电所的所址应符合现行国家标准《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)的有关规定；

9. 不应设在地势低洼和可能积水的场所；

10. 不宜设在对防电磁干扰有较高要求的设备机房的正上方、正下方或与其贴邻的场所，当需要设在上述场所时，应采取防电磁干扰的措施。

2.0.2 油浸变压器的车间内变电所，不应设在三、四级耐火等级的建筑物内；当设在二级耐火等级的建筑物内时，建筑物应采取局部防火措施。

2.0.3 在多层建筑物或高层建筑物的裙房中，不宜设置油浸变压器的变电所，当受条件限制必须设置时，应将油浸变压器的变电所设置在建筑物首层靠外墙的部位，且不得设置在人员密集场所的正上方、正下方、贴邻处以及疏散出口的两旁。高层主体建筑内不应设置油浸变压器的变电所。

2.0.4　在多层或高层建筑物的地下层设置非充油电气设备的配电所、变电所时，应符合下列规定：

1. 当有多层地下层时，不应设置在最底层；当只有地下一层时，应采取抬高地面和防止雨水、消防水等积水的措施。

2. 应设置设备运输通道。

3. 应根据工作环境要求加设机械通风、去湿设备或空气调节设备。

2.0.5　高层或超高层建筑物根据需要可以在避难层、设备层和屋顶设置配电所、变电所，但应设置设备的垂直搬运及电缆敷设的措施。

2.0.6　露天或半露天的变电所，不应设置在下列场所：

1. 有腐蚀性气体的场所；

2. 挑檐为燃烧体或难燃体和耐火等级为四级的建筑物旁；

3. 附近有棉、粮及其他易燃、易爆物品集中的露天堆场；

4. 容易沉积可燃粉尘、可燃纤维、灰尘或导电尘埃且会严重影响变压器安全运行的场所。

5.1.2　35～110kV 变电站所址选择

规范引用　**《35～110kV 变电所设计规范》(GB 50059—2011)**



2.0.1　变电站站址的选择，应符合现行国家标准《工业企业总平面设计规范》(GB 50187—2012)的有关规定，并应符合下列要求：

1. 应靠近负荷中心；

2. 变电站布置应兼顾规划、建设、运行、施工等方面的要求，宜节约用地；

3. 应与城乡或工矿企业规划相协调，并应便于架空和电缆线路的引入和引出；

4. 交通运输应方便；

5. 周围环境宜无明显污秽，空气污秽时，站址宜设在受污染源影响最小处；

6. 变电站应避免与邻近设施之间的相互影响，应避开火灾、爆炸及其他敏感设施，与爆炸危险性气体区域邻近的变电站站址选择及其设计应符合现行国家标准《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058—2014)的有关规定；

7. 应具有适宜的地质、地形和地貌条件，站址宜避免选在有重要文物或开采后对变电站有影响的矿藏地点，无法避免时，应征得有关部门的同意；

8. 站址标高宜在 50 年一遇高水位上，无法避免时，站区应有可靠的防洪措施或与地区(工业企业)的防洪标准相一致，并应高于内涝水位；

9. 变电站主体建筑应与周边环境相协调。

5.2 变配电所布置设计

5.2.1 20kV及以下变电所布置设计

规范引用 《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)



4.1.1 变电所型式的选择应符合下列规定:

1. 负荷较大的车间和动力站房,宜设附设变电所、户外预装式变电站或露天、半露天变电所;

2. 负荷较大的多跨厂房,负荷中心在厂房的中部且环境许可时,宜设车间内变电所或预装式变电站;

3. 高层或大型民用建筑内,宜设户内变电所或预装式变电站;

4. 负荷小而分散的工业企业,民用建筑和城市居民区,宜设独立变电所或户外预装式变电站,当条件许可时,也可设附设变电所;

5. 城镇居民区、农村居民区和工业企业的生活区,直设户外预装式变电站,当环境允许且变压器容量小于或等于400kVA时,可设杆上式变电站。

4.1.2 非充油的高、低压配电装置和非油浸型的电力变压器,可设置在同一房间内,当二者相互靠近布置时,应符合下列规定:

1. 在配电室内相互靠近布置时,二者的外壳均应符合现行国家标准《外壳防护等级(IP代码)》(GB 4208—2008)中IP2X防护等级的有关规定;

2. 在车间内相互靠近布置时,二者的外壳均应符合现行国家标准《外壳防护等级(IP代码)》(GB 4208—2008)中IP3X防护等级的有关规定。

4.1.3 户内变电所每台油量大于或等于100kg的油浸三相变压器,应设在单独的变压器室内,并应有储油或挡油、排油等防火设施。

4.1.4 有人值班的变电所,应设单独的值班室。值班室应与配电室直通或经过通道相通,且值班室应有直接通向室外或通向变电所外走道的门。当低压配电室兼作值班室时,低压配电室的面积应适当增大。

4.1.5 变电所宜单层布置。当采用双层布置时,变压器应设在底层,设于二层的配电室应设搬运设备的通道、平台或孔洞。

4.1.6 高、低压配电室内,宜留有适当的配电装置备用位置。低压配电装置内,应留有适当数量的备用回路。

4.1.7 由同一配电所供给一级负荷用电的两回电源线路的配电装置,宜分开布置在不同的配电室;当布置在同一配电室时,配电装置宜分列布置;当配电装置并排布置时,在母线分段处应设置配电装置的防火隔板或有门洞的隔墙。

4.1.8 供给一级负荷用电的两回电源线路的电缆不宜通过同一电缆沟;当无法分开时,应采用阻燃电缆,且应分别敷设在电缆沟或电缆夹层的不同侧的桥(支)架上;当敷设在同一侧的桥(支)架上时,应采用防火隔板隔开。

4.1.9 大、中型和重要的变电所宜设辅助生产用房。

5.2.2　35～110kV变电站布置设计

规范引用　《35～110kV变电所设计规范》(GB 50059—2011)



2.0.2　变电站应根据所在区域特点，选择合适的配电装置型式，抗震设计应符合现行国家标准《电力设施抗震设计规范》(GB 50260—2013)的有关规定。

2.0.3　城市中心变电站宜选用小型化紧凑型电气设备。

2.0.4　变电站主变压器布置除应运输方便外，还应布置在运行噪声对周边环境影响较小的位置。

2.0.5　屋外变电站实体围墙不应低于2.2m。城区变电站、企业变电站围墙型式应与周围环境相协调。

2.0.6　变电站内为满足消防要求的主要道路宽度应为4.0m。主要设备运输道路的宽度可根据运输要求确定，并应具备回车条件。

2.0.7　变电站的场地设计坡度，应根据设备布置、土质条件、排水方式确定，坡度宜为0.5%～2%，且不应小于0.3%；平行于母线方向的坡度，应满足电气及结构布置的要求。道路最大坡度不宜大于6%。当利用路边沟排水时，沟的纵向坡度不宜小于0.5%，局部困难地段不应小于0.3%。

电缆沟及其他类似沟道的沟底纵坡，不宜小于0.5%。

2.0.8　变电站内的建筑物标高、基础埋深、路基和管线埋深，应相互配合；建筑物内地面标高，宜高出屋外地面0.3m，屋外电缆沟壁，宜高出地面0.1m。

2.0.9　各种地下管线之间和地下管线与建筑物、构筑物、道路之间的最小净距，应满足安全、检修安装及工艺的要求。

2.0.10　变电站站区绿化规划应与周围环境相适应，并应防止绿化物影响安全运行。

5.3　电气设备的布置设计

5.3.1　3～110kV高压配电装置布置设计

规范引用　《3～110kV高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008)



5.2　配电装置型式选择

5.2.1　配电装置型式的选择，应根据设备选型及进出线方式，结合工程实际情况，并与工程总体布置协调，通过技术经济比较确定。在技术经济合理时，应采用占地少的配电装置型式。

5.2.2　66～110kV配电装置宜采用敞开式中型配电装置或敞开式半高型配电装置。

5.2.3　Ⅳ级污秽地区、大城市中心地区、土石方开挖工程量大的山区，66～110kV配电装置，宜采用屋内敞开式配电装置；当技术经济合理时，也可采用气体绝缘金属封闭开关设备配电装置。

5.2.4 地震烈度为9度及以上地区的110kV配电装置宜采用气体绝缘金属封闭开关设备配电装置。

5.3 配电装置布置

5.3.1 配电装置的布置应结合接线方式、设备型式以及工程总体布置综合因素确定。

5.3.2 3～35kV配电装置采用金属封闭高压开关设备时,应采用屋内布置。

5.3.3 35～110kV配电装置,双母线接线,当采用软母线配普通双柱式或单柱式隔离开关时,屋外敞开式配电装置宜采用中型布置,断路器宜采用单列式布置或双列式布置。

110kV配电装置,双母线接线,当采用管形母线配双柱式隔离开关时,屋外敞开式配电装置宜采用半高型布置,断路器宜采用单列式布置。

5.3.4 35～110kV配电装置,单母线接线,当采用软母线配普通双柱式隔离开关时,屋外敞开式配电装置应采用中型布置,断路器宜采用单列式布置或双列式布置。

5.3.5 110kV配电装置,双母线接线,当采用管形母线配双柱式隔离开关时,屋内敞开式配电装置应采用双层布置,断路器宜采用双列式布置。

5.3.6 110kV配电装置,气体绝缘金属封闭开关设备配电装置可采用户内或户外布置。

5.3.7 110kV配电装置,当采用管形母线时,管形母线宜选用单管结构。管形母线固定方式可采用支持式。当地震烈度为8度及以上时,管形母线固定方式宜采用悬吊式。

支持式管形母线在无冰无风状态下的跨中挠度不宜大于管形母线外直径的0.5～1.0倍,悬吊式管形母线的挠度可放宽。

采用支持式管形母线时,应采取加装动力双环阻尼消振器、管内加装阻尼线,以及改变支持方式等措施消除母线对端部效应、微风振动及热胀冷缩对支持绝缘子产生的内应力。

5.3.2 各级电压配电装置安全净距

5.3.2.1 20kV及以下变电所的配电装置安全净距

《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)

4.2.1 室内、外配电装置的最小电气安全净距应符合表5-1的规定。

表5-1 室内、外配电装置的最小电气安全净距 (mm)

监控项目	场所	额定电压/kV						符号
		≤1	3	6	10	15	20	
元遮拦裸带电部分至地(楼)面之间	室内	2500	2500	2500	2500	2500	2500	—
	室外	2500	2700	2700	2700	2800	2800	
裸带电部分至接地部分和不同的裸带电部分之间	室内	20	75	100	125	150	180	A
	室外	75	200	200	200	300	300	
距地面2500mm以下的遮拦防护等级为IP2X时,裸带电部分与遮护物间水平净距	室内	100	175	200	225	250	280	B
	室外	175	300	300	300	400	400	
不同时停电检修的无遮拦裸导体之间的水平距离	室内	1875	1875	1900	1925	1950	1980	—
	室外	2000	2200	2200	2200	2300	2300	

续表

监控项目	场所	额定电压/kV						符号
		≤1	3	6	10	15	20	
裸带电部分至无孔固定遮拦	室内	50	105	130	155	—	—	—
裸带电部分至用钥匙或工具才能打开或拆卸的栅栏	室内	800	825	850	875	900	930	C
	室外	825	950	950	950	1050	1050	
高低压引出线的套管至户外通道地面	室外	3650	4000	4000	4000	4000	4000	—

注：①海拔高度超过1000m时，表中符号A后的数值应按每升高100m增大1%进行修正，符号B、C后的数值应加上符号A的修正值；

②裸带电部分的遮拦高度不小于2.2m。

4.2.2　露天或半露天变电所的变压器四周应设高度不低于1.8m的固定围栏或围墙，变压器外廓与围栏或围墙的净距不应小于0.8m，变压器底部距地面不应小于0.3m。油重小于1000kg的相邻油浸变压器外廓之间的净距不应小于1.5m；油重1000～2500kg的相邻油浸变压器外廓之间的净距不应小于3.0m；油重大于2500kg的相邻油浸变压器外廓之间的净距不应小于5m；当不能满足上述要求时，应设置防火墙。

4.2.3　当露天或半露天变压器供给一级负荷用电时，相邻油浸变压器的净距不应小于5m；当小于5m时，应设置防火墙。

4.2.4　油浸变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距，应符合表5-2的规定。

表5-2　油浸变压器外廓与变压器室墙壁和门的最小净距　(mm)

变压器容量(kVA)	100～1000	1250及以上
变压器外廓与后壁、侧壁	600	800
变压器外廓与门	800	1000

注：不考虑室内油浸变压器的就地检修。

4.2.5　设置在变电所内的非封闭式干式变压器，应装设高度不低于1.8m的固定围栏，围栏网孔不应大于40mm×40mm。变压器的外廓与围栏的净距不宜小于0.6m，变压器之间的净距不应小于1.0m。

4.2.6　配电装置的长度大于6m时，其柜(屏)后通道应设两个出口，当低压配电装置两个出口间的距离超过15m时应增加出口。

4.2.7　高压配电室内成排布置的高压配电装置，其各种通道的最小宽度应符合表5-3的规定。

表5-3　高压配电室内各种通道的最小宽度　(mm)

开关柜布置方式	柜后维护通道	柜前操作通道	
		固定式开关柜	移开式开关柜
单排布置	800	1500	单手车长度＋1200
双排面对面布置	800	2000	双手车长度＋900
双排背对背布置	1000	1500	单手车长度＋1200

注：①固定式开关柜为靠墙布置时，柜后与墙净距应大于50mm，侧面与墙净距宜大于200mm；

②通道宽度在建筑物的墙面有柱类局部凸出时，凸出部位的通道宽度可减少200mm；

③当开关柜侧面需设置通道时，通道宽度不应小于800mm；

④对全绝缘密封式成套配电装置，可根据厂家安装使用说明书减少通道宽度。

4.2.8 低压配电室内成排布置的配电屏的通道最小宽度,应符合现行国家标准《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)的有关规定;当配电屏与干式变压器靠近布置时,干式变压器通道的最小宽度应为 800mm。

5.3.2.2 3～110kV 高压配电装置安全净距

规范引用 《3～110kV 高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008)



5.4.1 配电装置的布置,应便于设备的操作、搬运、检修和试验。

5.4.2 中型布置的屋外配电装置内的检修、维护用环形道路宽度不宜小于 3000mm。成环有困难时,应具备回车条件。

5.4.3 屋外配电装置应设置巡视和操作道路。可利用地面电缆沟的布置作为巡视路线。

5.4.4 屋内配电装置采用金属封闭开关设备时,屋内各种通道的最小宽度(净距)宜符合表 5-4 的规定。

表 5-4 配电装置屋内各种通道的最小宽度(净距) (mm)

通道分类 / 布置方式	维护通道	操作通道	
		固定式	移开式
设备单列布置时	800	1500	单车长+1200
设备双列布置时	1000	2000	双车长+900

注:①通道宽度在建筑物的墙柱个别突出处,可缩小 200mm。

②移开式开关柜不需要进行就地检修时,其通道宽度可适当减小。

③固定式开关柜靠墙布置时,柜背离墙距离宜取 50mm。

④当采用 35kV 开关柜时,柜后通道不宜小于 1000mm。

5.4.5 室内油浸变压器外廓与变压器室四周墙壁的最小净距应符合表 5-5 的规定。就地检修的室内油浸变压器,室内高度可按吊芯所需的最小高度增加 700mm,宽度可按变压器两侧各加 800mm 选取。

表 5-5 屋内油浸变压器外廓与变压器室四壁的最小净距 (mm)

变压器容量	1000kV·A 及以下	1250kV·A 及以上
变压器与后壁、侧壁之间	600	800
变压器与门之间	800	1000

5.4.6 设置于屋内的无外壳干式变压器,其外廓与四周墙壁的净距不应小于 600mm。干式变压器之间的距离不应小于 1000mm,并应满足巡视维修的要求。

5.4.7 66～110kV 屋外配电装置,其周围宜设置高度不低于 1500mm 的围栏,并应在围栏醒目地方设置警示牌。

5.4.8 配电装置中电气设备的栅状遮栏高度不应小于 1200mm,栅状遮栏最低栏杆至地面的净距不应大于 200mm。

5.4.9 配电装置中电气设备的网状遮栏高度不应小于 1700mm,网状遮栏网孔不应大于 40mm×40mm。围栏门应装锁。

5.4.10 在安装有油断路器的屋内间隔内应设置遮栏,就地操作的油断路器及隔离开

关，应在其操作机构处设置防护隔板，防护隔板的宽度应满足人员操作的范围要求，高度不应小于1900mm。

5.4.11　屋外裸导体母线桥，当外物有可能落在母线上时，应根据具体情况采取防护措施。

5.3.3　并联电容器布置

规范引用　《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)



5.1.2　并联电力电容器的选择应符合下列规定：

1. 电容器的额定电压应按电容器接入电网处的运行电压计算，电容器应能承受1.1倍长期工频过电压；

2. 电容器的绝缘水平应根据电容器接入电网处的电压等级和电容器组接线方式、安装方式的要求进行计算，并应根据电容器产品标准电压选取；

3. 电容器选型应符合电容器使用环境条件的要求；

4. 高压电容器宜采用难燃介质的电容器，低压电容器宜采用自愈式电容器。

5.1.4　并联电容器装置的电器和导体应符合在当地环境条件下正常运行、过电压状态和短路故障的要求，其载流部分的长期允许电流应按稳态过电流的最大值确定。并联电容器装置的总回路和分组回路的电器和导体的稳态过电流应为电容器组额定电流的1.35倍；单台电容器导体的允许电流不宜小于单台电容器额定电流的1.5倍。

5.1.5　用于并联电容器装置的断路器应符合电容器组投切的设备要求，技术性能除应符合一般断路器的技术要求外，还应符合下列规定：

1. 断路器应具备频繁操作电容器的性能；

2. 断路器关合时触头弹跳不应大于限定值，开断时不应重击穿；

3. 断路器应能承受关合涌流，以及工频短路电流和电容器高频涌流的联合作用。

5.1.6　并联电容器装置总回路中的断路器，应具有切除和闭合所连接的全部电容器组的额定电流和开断总回路短路电流的能力。

5.1.7　电容器组应装设放电器件，放电线圈的放电容量不应小于与其并联的电容器组容量。放电器件应满足断开电源后电容器组两端的电压从$\sqrt{2}$倍额定电压降至50V所需的时间，高压电容器不应大于5s，低压电容器不应大于3min。

5.2.1　高压电容器组应采用中性点不接地的星形接线，低压电容器组可采用三角形接线或星形接线。

5.2.2　高压电容器组应直接与放电器件连接，中间不应设置开关或熔断器，低压电容器组宜与放电器件直接连接，也可设置自动接通接点。

5.2.3　电容器组应装设单独的控制和保护装置。当电容器组直接并接入单台用电设备的主回路作为设备无功功率的就地补偿装置时，可与该设备共用控制和保护装置。

5.2.4　单台高压电容器的内部故障保护应采用专用熔断器，熔丝额定电流宜为电容器额定电流的1.37～1.50倍。

5.2.5　当电容器装置附近有高次谐波，且含量超过规定允许值时，应在回路中设置抑制谐波的串联电抗器。

5.2.6 电容器的额定电压与电力网的标称电压相同时,应将电容器的外壳和支架接地;当电容器的额定电压低于电力网的标称电压时,应将每相电容器的支架绝缘,绝缘等级应和电力网的标称电压相配合。

5.3.1 高压电容器装置宜设置在单独的房间内,当采用非可燃介质的电容器且电容器组容量较小时,可设置在高压配电室内。

低压电容器装置可设置在低压配电室内,当电容器总容量较大时,宜设置在单独的房间内。

5.3.2 装配式电容器组单列布置时,网门与墙的距离不应小于1.3m;当双列布置时,网门之间的距离不应小于1.5m。

5.3.3 成套电容器柜单列布置时,柜前通道宽度不应小于1.5m;当双列布置时,柜面之间的距离不应小于2.0m。

5.3.4 室内电容器装置的布置和安装设计,应符合设备通风散热条件并保证运行维修方便。

5.3.4 变配电所的防火与蓄油设施

5.3.4.1 20kV及以下变配电所的防火

规范引用 《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)



6.1.1 变压器室、配电室和电容器室的耐火等级不应低于二级。

6.1.2 位于下列场所的油浸变压器室的门应采用甲级防火门:

1. 有火灾危险的车间内;

2. 容易沉积可燃粉尘、可燃纤维的场所;

3. 附近有粮、棉及其他易燃物大量集中的露天堆场;

4. 民用建筑物内,门通向其他相邻房间;

5. 油浸变压器室下面有地下室。

6.1.3 民用建筑内变电所防火门的设置应符合下列规定:

1. 变电所位于高层主体建筑或裙房内时,通向其他相邻房间的门应为甲级防火门,通向过道的门应为乙级防火门;

2. 变电所位于多层建筑物的二层或更高层时,通向其他相邻房间的门应为甲级防火门,通向过道的门应为乙级防火门;

3. 变电所位于单层建筑物内或多层建筑物的一层时,通向其他相邻房间或过道的门应为乙级防火门;

4. 变电所位于地下层或下面有地下层时,通向其他相邻房间或过道的门应为甲级防火门;

5. 变电所附近堆有易燃物品或通向汽车库的门应为甲级防火门;

6. 变电所直接通向室外的门应为丙级防火门。

6.1.4 变压器室的通风窗应采用非燃烧材料。

6.1.5 当露天或半露天变电所安装油浸变压器,且变压器外廓与生产建筑物外墙的距离小于5m时,建筑物外墙在下列范围内不得有门、窗或通风孔:

1. 油量大于1000kg时，在变压器总高度加3m及外廓两侧各加3m的范围内；

2. 油量小于或等于1000kg时，在变压器总高度加3m及外廓两侧各加1.5m的范围内。

6.1.6　高层建筑物的裙房和多层建筑物内的附设变电所及车间内变电所的油浸变压器室，应设置容量为100%变压器油量的储油池。

6.1.7　当设置容量不低于20%变压器油量的挡油池时，应有能将油排到安全场所的设施。位于下列场所的油浸变压器室，应设置容量为100%变压器油量的储油池或挡油设施：

1. 容易沉积可燃粉尘、可燃纤维的场所；

2. 附近有粮、棉及其他易燃物大量集中的露天场所；

3. 油浸变压器室下面有地下室。

6.1.8　独立变电所、附设变电所、露天或半露天变电所中，油量大于或等于1000kg的油浸变压器，应设置储油池或挡油池，并应符合《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)第6.1.7条的有关规定。

6.1.9　在多层建筑物或高层建筑物裙房的首层布置油浸变压器的变电站时，首层外墙开口部位的上方应设置宽度不小于1.0m的不燃烧体防火挑檐或高度不小于1.2m的窗槛墙。

6.1.10　在露天或半露天的油浸变压器之间设置防火墙时，其高度应高于变压器油枕，长度应长过变压器的储油池两侧各0.5m。

5.3.4.2　3～110kV变电所的防火与蓄油设施

规范引用　《3～110kV高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008)



5.5.1　35kV屋内敞开式配电装置的储油设备应安装在两侧有隔墙(板)的间隔内；66～110kV屋内敞开式配电装置的储油设备应安装在有防爆隔墙的间隔内。

总油量超过100kg的屋内油浸电力变压器，应安装在单独的变压器间内，并应设置灭火设施。

5.5.2　屋内单台电气设备的油量在100kg以上时，应设置储油设施或挡油设施。挡油设施的容积应按容纳20%油量设计，并应有将事故油排至安全处所的设施；当不能满足上述要求时，应设置能容纳100%油量的储油设施。

排油管的内径不应小于150mm，管口应加装铁栅滤网。

5.5.3　屋外单台电气设备的油量在1000kg以上时，应设置储油或挡油设施。当设置有容纳20%油量的储油或挡油设施时，应设置将油排到安全处所的设施，且不应引起污染危害。

当不能满足上述要求时，应设置能容纳100%油量的储油或挡油设施。储油和挡油设施应大于设备外廓每边各1000mm，四周应高出地面100mm。储油设施内应铺设卵石层，卵石层厚度不应小于250mm，卵石直径为50～80mm。

当设置有油水分离措施的总事故储油池时，储油池容量宜按最大一个油箱容量的60%确定。

5.5.4　油量为2500kg及以上的屋外油浸变压器之间的最小净距应符合表5-6的规定。

表 5-6 屋外油浸变压器之间的最小净距 (m)

电压等级	最小净距
35kV 及以下	5
66kV	6
110kV	8

5.5.5 油量为 2500kg 及以上的屋外油浸变压器之间的防火间距不能满足表 5-6 的要求时,应设置防火墙。

防火墙的耐火极限不宜小于 4h。防火墙的高度应高于变压器油枕,其长度应大于变压器储油池两侧各 1000mm。

5.5.6 油量在 250kg 及以上的屋外油浸变压器或电抗器与本回路油量为 600～2500kg 的充油电气设备之间的防火间距,不应小于 5000mm。

5.5.7 在防火要求较高的场所,有条件时宜选用非油绝缘的电气设备。

5.3.5 变配电所设计对其他专业的要求

5.3.5.1 20kV 及以下变电所设计对建筑的要求

规范引用 《20kV 及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)

6.2.1 地上变电所宜设自然采光窗。除变电所周围设有 1.8m 高的围墙或围栏外,高压配电室窗户的底边距室外地面的高度不应小于 1.8m,当高度小于 1.8m 时,窗户应采用不易破碎的透光材料或加装格栅;低压配电室可设能开启的采光窗。

6.2.2 变压器室、配电室、电容器室的门应向外开启。相邻配电室之间有门时,应采用不燃材料制作的双向弹簧门。

6.2.3 变电所各房间经常开启的门、窗,不应直通相邻的酸、碱、蒸汽、粉尘和噪声严重的场所。

6.2.4 变压器室、配电室、电容器室等房间应设置防止雨、雪和蛇、鼠等小动物从采光窗、通风窗、门、电缆沟等处进入室内的设施。

6.2.5 配电室、电容器室和各辅助房间的内墙表面应抹灰刷白,地面宜采用耐压、耐磨、防滑、易清洁的材料铺装。配电室、变压器室、电容器室的顶棚以及变压器室的内墙面应刷白。

6.2.6 长度大于 7m 的配电室应设两个安全出口,并宜布置在配电室的两端。当配电室的长度大于 60m 时,宜增加一个安全出口,相邻安全出口之间的距离不应大于 40m。

当变电所采用双层布置时,位于楼上的配电室应至少设一个通向室外的平台或通向变电所外部通道的安全出口。

6.2.7 配电装置室的门和变压器室的门的高度和宽度,宜按最大不可拆卸部件尺寸,高度加 0.5m,宽度加 0.3m 确定,其疏散通道门的最小高度宜为 2.0m,最小宽度宜为 750mm。

6.2.8 当变电所设置在建筑物内或地下室时,应设置设备搬运通道。搬运通道的尺寸及地面的承重能力应满足搬运设备的最大不可拆卸部件的要求。当搬运通道为吊装孔或吊

装平台时，吊钩、吊装孔或吊装平台的尺寸和吊装荷重应满足吊装最大不可拆卸部件的要求，吊钩与吊装孔的垂直距离应满足吊装最高设备的要求。

6.2.9　变电所、配电所位于室外地坪以下的电缆夹层、电缆沟和电缆室应采取防水、排水措施；位于室外地坪下的电缆进、出口和电缆保护管也应采取防水措施。

6.2.10　设置在地下的变电所的顶部位于室外地面或绿化土层下方时，应避免顶部滞水，并应采取避免积水、渗漏的措施。

6.2.11　配电装置的布置宜避开建筑物的伸缩缝。

5.3.5.2　3～110kV变电所设计对建筑的要求

规范引用　《3～110kV高压配电装置设计规范》(GB 50060—2008)

7.1　屋内配电装置对建筑物的要求

7.1.1　长度大于7000mm的配电装置室，应设置2个出口。长度大于60000mm的配电装置室，宜设置3个出口；当配电装置室有楼层时，一个出口可设置在通往屋外楼梯的平台处。

7.1.2　屋内敞开式配电装置的母线分段处，宜设置带有门洞的隔墙。

7.1.3　充油电气设备间的门开向不属配电装置范围的建筑物内时，应采用非燃烧体或难燃烧体的实体门。

7.1.4　配电装置室的门应设置向外开启的防火门，并应装弹簧锁，严禁采用门闩；相邻配电装置室之间有门时，应能双向开启。

7.1.5　配电装置室可开固定窗采光，并应采取防止玻璃破碎时小动物进入的措施。

7.1.6　配电装置室的顶棚和内墙应做耐火处理，耐火等级不应低于二级。地(楼)面应采用耐磨、防滑、高硬度地面。

7.1.7　配电装置室有楼层时，楼层楼面应有防渗水措施。

7.1.8　配电装置室应按事故排烟要求装设事故通风装置。

7.1.9　配电装置屋内通道应保证畅通无阻，不得设立门槛，不应有与配电装置无关的管道通过。

7.1.10　布置在屋外配电装置区域内的继电器小室，宜采取防尘、防潮、防强电磁干扰和静电干扰的措施。

7.1.11　建筑物与户外油浸变压器的外廓间距不宜小于10000mm；当其间距小于10000mm，且在5000mm以内时，在变压器外轮廓投影范围外侧各3000mm内的屋内配电装置楼、主控制楼及网络控制楼面向油浸变压器的外墙不应开设门、窗和通风孔；当其间距在5000～10000mm时，在上述外墙上可设甲级防火门。变压器高度以上可设防火窗，其耐火极限不应小于0.90h。

7.2　屋外配电装置对构筑物的要求

7.2.1　计算用气象条件应按当地的气象资料确定。

7.2.2　独立架构应按终端架构设计，连续架构可根据实际受力条件分别按终端或中间架构设计。架构设计时不计算断线受力情况。

7.2.3　架构设计应计算其正常运行、安装、检修时的各种荷载组合。正常运行时，应取设计最大风速、最低气温、最厚覆冰三种情况中最严重者；安装紧线时，不计算导线上人荷

载,但应计算安装引起的附加垂直荷载和横梁上人的2000N集中荷载;检修时,对导线跨中有引下线的110V电压的架构,应计算导线上人荷载,并分别验算单相作业和三相作业的受力状态。此时,导线集中荷载应符合下列规定。

1. 单相作业:110kV应取1500N。

2. 三相作业:110kV每相应取1000N。

7.2.4 半高型配电装置的架构横梁应计其适当的起吊荷载。

7.3 屋内气体绝缘金属封闭开关设备配电装置对建筑物的要求

7.3.1 屋内气体绝缘金属封闭开关设备配电装置屋内地面宜采用耐磨、防滑、高硬度地面,并应满足气体绝缘金属封闭开关设备对基础不均匀沉降的要求。同一间隔气体绝缘金属封闭开关设备的布置应避免跨土建结构缝。

7.3.2 屋内气体绝缘金属封闭开关设备配电装置的设计,应根据其扩建、安装、检修、运行、维护以及气体回收确定所需的空间和通道。

7.3.3 屋内气体绝缘金属封闭开关设备配电装置两侧应设置安装、检修和巡视的通道。主通道宜靠近断路器侧,宽度宜为2000mm;巡视通道宽度不应小于1000mm。

7.3.4 屋内气体绝缘金属封闭开关设备配电装置应设置起吊设备,起吊设备的容量应满足起吊最大检修单元,以及设备检修的要求。

7.3.5 屋内气体绝缘金属封闭开关设备配电装置宜配备SF_6气体回收装置,低位区应配备SF_6泄漏报警仪及事故排风装置。

5.3.5.3 变配电所设计对采暖与通风的要求

规范引用 《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)



6.3.1 变压器室宜采用自然通风,夏季的排风温度不宜高于45℃,且排风与进风的温差不宜大于15℃。当自然通风不能满足要求时,应增设机械通风。

6.3.2 电容器室应有良好的自然通风,通风量应根据电容器允许的温度,按夏季排风温度不超过电容器所允许的最高环境空气温度计算;当自然通风不能满足要求时,可增设机械通风。电容器室、蓄电池室、配套有电子类温度敏感器件的高、低压配电室和控制室,应设置环境空气温度指示装置。

6.3.3 当变压器室、电容器室采用机械通风时,其通风管道应采用非燃烧材料制作。当周围环境污秽时,宜加设空气过滤器。装有六氟化硫气体绝缘的配电装置的房间,在发生事故时房间内易聚集六氟化硫气体的部位,应装设报警信号和排风装置。

6.3.4 配电室宜采用自然通风。设置在地下或地下室的变、配电所,宜装设除湿、通风换气设备;控制室和值班室宜设置空气调节设施。

6.3.5 在采暖地区,控制室和值班室应设置采暖装置。配电室内温度低影响电气设备元件和仪表的正常运行时,也应设置采暖装置或采取局部采暖措施。控制室和配电室内的采暖装置宜采用钢管焊接,且不应有法兰、螺纹接头和阀门等。

5.3.5.4 变配电所设计对其他的要求

规范引用 《20kV及以下变电所设计规范》(GB 50053—2013)



6.4.1 高、低压配电室、变压器室、电容器室、控制室内不应有无关的管道和线路通过。

6.4.2 有人值班的独立变电所内宜设置厕所和给、排水设施。

6.4.3　在变压器、配电装置和裸导体的正上方不应布置灯具。当在变压器室和配电室内裸导体上方布置灯具时，灯具与裸导体的水平净距不应小于1.0m，灯具不得采用吊链和软线吊装。

5.4　特殊环境的变配电装置设计

5.4.1　污秽地区配电装置的设计

5.4.1.1　环境条件

《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分：定义、信息和一般原则》(GB/T 26218.1—2010)

规范引用

7.1　污秽类型的鉴别

能导致闪络的绝缘子污秽的基本类型主要有两类。

A类：沉积在绝缘子表面上的有不溶成分的固体污秽，湿润时该沉积物变成导电的。这种类型污秽的最好表征方法是进行ESDD/NSDD测量。固体污秽层的ESDD值也可以用在控制湿润条件下的表面电导率来评定。

B类：沉积在绝缘子上的不溶成分很少或没有不溶成分的液体电解质。这种类型污秽的最好表征方法是进行电导或泄漏电流测量。

可能会出现这两种类型污秽的组合。

附录B(原规范中，下同)给出了A类和B类污秽闪络机理的简短描述。

7.1.1　A类污秽

A类污秽最常见于内陆地区、荒漠地区或工业污秽地区(见7.2节)。当在沿海地区形成了干盐层，然后迅速地被露、薄雾、雾或毛毛雨等湿润时，在那里也可以出现A类污秽。

A类污秽有两种主要成分，即湿润时形成导电层的可溶污秽物和与可溶污秽物粘合在一起的不溶污秽物，叙述于下。

- 可溶污秽物

可溶污秽物可分为高溶解度盐(即迅速溶于水的盐)和低溶解度盐(即很难溶解的盐)。可溶污秽物可用等值盐密(ESDD)度量，单位为mg/cm^2。

- 不溶污秽物

不溶污秽物的例子有灰尘、沙、泥土、油等。不溶污秽物可用不溶沉积物密度(NSDD)来度量，单位为mg/cm^2。

注：GB/T 26218没有考虑盐溶解度对污秽耐受电压的影响，这一问题目前还在研究中。同样，也没有考虑不溶污秽物种类的影响。此外，不溶成分可能含有导电污秽物(即带有金属导电颗粒的污秽物)。参考文献[1]给出了污秽物类型影响方面的更多信息。

7.1.2　B类污秽

B类污秽最常见于沿海地区，由盐水或导电雾沉降在绝缘子表面形成。B类污秽的其他来源的例子有：喷洒农作物、化学雾以及酸雨。

7.2 环境的一般分类

GB/T 26218 将环境描述为如下 5 种类型。环境类型用一种地区的典型污秽特性来描述,其中示出了污秽类型(按 7.1 节中的 A 或 B)的例子。实际上大多数污秽环境包含的污秽类型多于一种,如有沙滩的沿海地区。此时重要的是确定哪一种污秽类型(A 或 B)为主。

· "荒漠型"环境

荒漠型区域的特点是具有沙质土壤,干旱期持续时间很长,面积广阔。这些地区的污秽层通常含有溶解速度缓慢的盐并且 NSDD 水平很高(A 类)。绝缘子主要被风带来的污秽物所污染。自然清洁可以发生在少有的下雨期或强风形成的"沙吹"时。雨水稀少并且盐的溶解性差使得绝缘子自然清洁效果较差。绝缘子凝露现象可能经常产生临界湿润,导致绝缘子有闪络风险。

· "沿海型"环境

沿海型区域的典型特点是直接邻近海岸,污秽物主要由浪花喷溅、风和雾等原因沉积在绝缘子表面。但在某些与地形有关的情况下,在远离海岸 50km 的内陆地区也可以看到这种现象。通常污秽层形成很快,特别是在浪花喷溅或导电雾情况下(B 类)。污秽层也可能由风带来的颗粒通过较长时间沉积建立起来,其组成为快速溶解的盐与少量的惰性成分(A 类),该惰性成分取决于当地的地表特性。当污秽层活性主要来自快速溶解的盐时,绝缘子的自然清洁特别有效。

· "工业型"环境

工业型区域指工业污染源及紧邻的地区。污秽层的构成可以是导电的颗粒污秽物,如煤、金属沉积物;也可以是气体的溶解物,如 NO_x、SO_x(B 类);或是溶解缓慢的污秽物,如水泥、石膏(A 类)。污秽层的惰性成分含量可能为中等到较高(即 NSDD 中等到较高)(A 类)。工业地区自然清洁的有效性很大程度上随所存在的污秽类型变化。这种污秽通常是沉积在水平表面上重的颗粒。

· "农业型"环境

农业型区域紧邻农业活动的地区。典型污秽源是耕作(A 类)或喷洒农作物(B 类)。绝缘子上的污秽层主要是快溶或慢溶的盐,如化学制品、鸟粪或是在土壤中存在的盐。污秽层通常含有中等的或较高的惰性成分(中等到高的 NSDD)。取决于沉积盐的类型,绝缘子的自然清洁可能很有效。这种污秽通常是沉积在水平表面上重的颗粒,但也可能是风带来的污秽。

· "内陆型"环境

这些地区的污秽水平很低,没有明显可确认的污秽源。

7.3 污秽度

现场污秽度测量通常用以下方式表达:

——ESDD 和 NSDD,对于 A 类污秽;

——现场等值盐度(SES),对于 B 类污秽。

自然污秽绝缘子的污秽度测量通常用以下方式表达:

——ESDD 和 NSDD,对于 A 类污秽;

——表面电导率,对于 B 类污秽。

注:在某些情况下 ESDD 测量可以使用于 B 类污秽。

人工污秽试验时绝缘子的污秽度通常按以下规定:

——SDD和NSDD，对于固体层法；

——雾的盐度（kg/m³），对于盐雾法。

5.4.1.2　线路和发电厂、变电所污秽分级标准

《3～110kV高压配电装置设计规范》（GB 50060—2008）





B.0.1　线路和发电厂、变电所污秽分级，应符合表5-7的规定。

表5-7　线路和发电厂、变电所污秽分级标准

污秽等级	污秽特征	盐密/(mg/cm²)	
		线路	发电厂、发电所
0	大气清洁地区及离海岸盐场50km以上无明显污秽地区	≤0.03	—
Ⅰ	大气轻度污秽地区，工业区和人口低密集区，离海岸盐场10～50km地区，在污闪季节中干燥少雾（含毛毛雨）或雨量较多时	>0.03～0.06	≤0.06
Ⅱ	大气中等污秽地区，轻盐碱和炉烟污秽地区，离海岸盐场3～10km地区，在污闪季节中潮湿多雾（含毛毛雨）但雨量较少时	>0.06～0.10	>0.06～0.10
Ⅲ	大气污染较严重地区，重雾和重盐碱地区，近海岸盐场1～3km地区，工业与人口密度较大地区，离化学污染源和炉烟污秽300～1500m的较严重污秽地区	>0.10～0.25	>0.10～0.25
Ⅳ	大气特别严重污染地区，离海岸盐场1km以内，离化学污染源和炉烟污秽300m以内的地区	0.25～0.35	>0.25～0.35

B.0.2　各级污秽等级下的爬电比距分级，应符合表5-8的规定

表5-8　各级污秽等级下的爬电比距分级数值

污秽等级	爬电比距/(cm/kv)	
	线路	发电厂、变电所
	110kV及以下	100kV及以下
0	1.39 (1.60)	—
Ⅰ	1.39～1.74 (1.60～2.00)	1.60 (1.84)
Ⅱ	1.74～2.17 (2.00～2.50)	2.00 (2.30)
Ⅲ	2.17～2.78 (2.50～3.20)	2.50 (2.88)
Ⅳ	2.78～3.30 (3.20～3.80)	3.10 (3.57)

注：①线路和发电厂、变电所爬电比距计算时取系统最高工作电压。表中括号内数字为按额定电压计算值。

②对电站设备0级（110V及以下，爬电比距为1.48cm/kV），目前保留作为过渡时期的污秽等级。

③对处于污秽环境中用于中性点绝缘和经消弧线圈接地系统的电力设备，其外绝缘水平可按高一级选取。

5.4.2 高海拔地区配电装置的设计

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

高压电气设备正常使用环境的海拔不超过1000m。

高海拔对电器的影响是多方面的,但主要是温升和外绝缘的问题。

当海拔增加时,空气密度降低,散热条件变坏,使高压电器在运行中的温升增加。但空气温度则随海拔的增加而相应递减,其值足以补偿由于海拔增加对高压电器温升的影响。因而在高海拔(不超过4000m)地区使用时,高压电器的额定电流可以保持不变。

海拔增加时,由于空气稀薄,气压降低,空气绝缘强度减弱,使高压电器外绝缘水平降低而对内绝缘没有影响,对于海拔高于1000m但不超过4000m的高压电器外绝缘,海拔每升高100m,其外绝缘强度约降低1%。

在海拔超过1000m的地区,可以通过采取加强保护或加强绝缘等措施,保证高压电器安全运行。

加强保护,是指选用特殊制造、性能优良的避雷器(如Y5SCG型避雷器),可以使普通绝缘的高压电器使用于3000m以下的高海拔地区,有利于降低高压电气设备的造价。

加强绝缘,是指在加强保护的措施不能满足要求时,按使用地区的海拔加强高压电器的外绝缘,选择适用于该海拔的产品,或在订货时向制造厂提出加强绝缘的技术要求。

对于安装在海拔1000m以上的高压电器,该使用场所要求的绝缘耐受电压是在标准参考大气条件下的绝缘耐受电压乘以修正系数K_a来决定,K_a的计算式为

$$k_a = e^{m(H-1000)}/8150 \tag{5-1}$$

式中 H——海拔(m);

m——为了简单起见,取下述确定值:$m=1$用于工频、雷电冲击和相间操作冲击电压,$m=0.9$用于纵绝缘操作冲击电压,$m=0.75$用于相对地操作冲击电压。

海拔修正系数K_a也可以由图5-1选取。

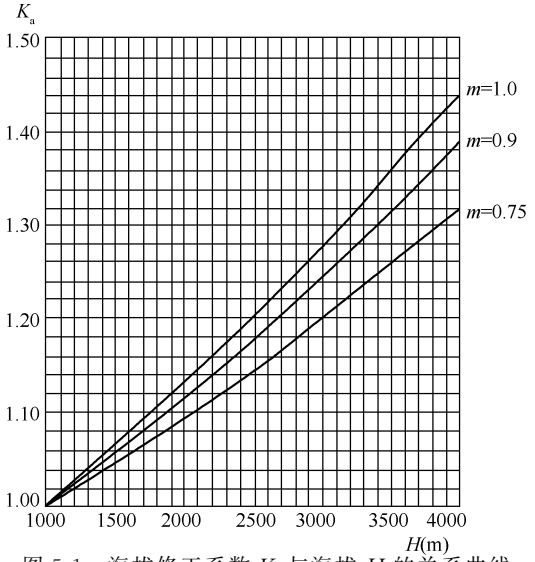


图5-1 海拔修正系数K_a与海拔H的关系曲线

随着海拔的增加，对导体载流量也有影响。裸导体的载流量应按所在地区的海拔和环境温度进行修正，其综合修正系数见表 5-9。

表 5-9　裸导体载流量在不同海拔及环境温度下的综合修正系数

导体最高允许温度/℃	适用范围	海拔/m	实际环境温度/℃						
			+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
+70	屋内矩形导体和不计日照的屋外软导线		1.05	1.00	0.94	0.88	0.81	0.74	0.67
+80	计及日照时对屋外软导线	≤1000	1.05	1.00	0.95	0.89	0.83	0.76	0.69
		2000	1.01	0.96	0.91	0.85	0.79		
		3000	0.97	0.92	0.87	0.81	0.75		
		4000	0.93	0.89	0.84	0.77	0.71		

6 短路电流计算

6.1 短路电流计算方法

6.1.1 短路电流的概念

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)



在三相交流系统中可能发生的短路故障主要有三相短路、两相短路和单相短路(包括单相接地故障)。通常,三相短路电流最大,当短路点发生在发电机附近时,两相短路电流可能大于三相短路电流;当短路点靠近中性点接地的变压器时,单相短路电流也有可能大于三相短路电流。

短路过程中短路电流变化的情况决定于系统电源容量的大小或短路点离电源的远近,其电流波形如图 6-1 所示。在工程计算中,如果以供电电源容量为基准的短路电路计算电抗不小于 3,短路时即认为电源母线电压维持不变,不考虑短路电流交流分量(周期分量)的衰减,可按短路电流不含衰减交流分量的系统,即无限大电源容量的系统或远离发电机端短路进行计算。否则,应按短路电流含衰减交流分量的系统,即有限电源容量的系统或靠近发电机端短路进行计算。

短路电流计算应求出最大短路电流值,用以校验电气设备的动稳定、热稳定及分断能力,整定继电保护装置;还应求出最小短路电流值,作为校验继电保护装置灵敏系数和校验电动机启动的依据。

一般需要计算下列短路电流值:

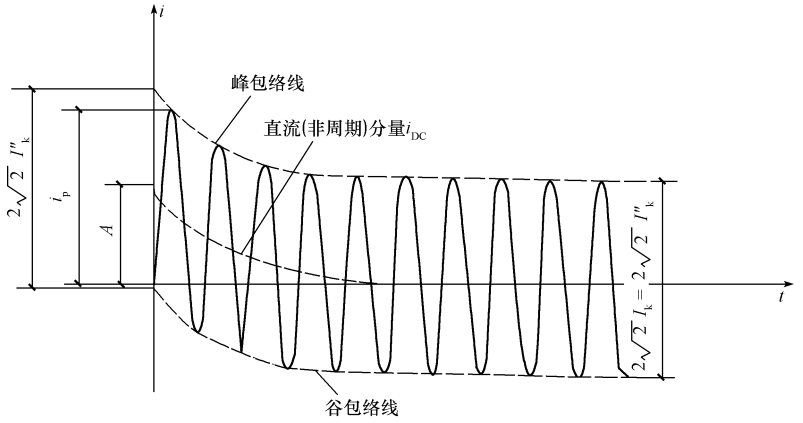
i_P——短路峰值电流(短路冲击电流或短路全电流最大瞬时值);

I''_k或 I''——对称短路电流(初始值超瞬态短路电流);

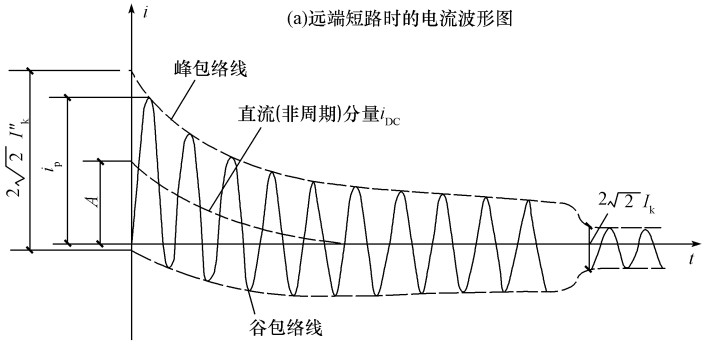
$I_{0.2}$——短路后 0.2s 的短路电流交流分量(周期分量)有效值;

I_k——稳态短路电流有效值。

(1)远端短路(短路电流中交流分量不衰减的系统)。预期短路电流对称交流分量的值在短路过程中基本保持不变的短路。即预期短路电流是由不衰减的交流分量和以初始值 A 衰减到零的直流分量组成的,可以认为远端短路的对称电流初始值 I''_k和稳态短路电流 I_k是相等的。当电力系统电抗 X_s与变压器低压侧电抗 X_{TLV}满足关系式 $X_{TLV} \geqslant 2X_s$时,可视为远



(a)远端短路时的电流波形图



(b)近端短路的电流波形图

I''_k—对称短路电流初始值；i_p—短路电流峰值；I_k—稳态短路电流；
i_{DC}—短路电流直流分量；A—直流分量 i_{DC}的初始值

图 6-1　短路电流波形图

端短路。

在工程计算中，如果以供电电源容量为基准的短路电路计算电抗标幺值 $X_{*c}\geqslant 3$ 时，可认为电源母线电压维持不变，不考虑短路电流交流分量的衰减，此种短路也称为远端短路。

(2)近端短路(短路电流中交流分量衰减的系统)。至少有一台同步电动机供给短路点的预期对称短路电流初始值超过这台发电机额定电流两倍的短路；或同步和异步电动机反馈到短路点的电流超过不接电动机时该点的对称短路电流初始值 I''_k的 5%的短路。

通常，近端短路时，稳态短路电流 I_k小于 I''_k。预期短路电流由幅值衰减的交流分量和以初始值开始衰减到零的直流分量组成。

(3)对称短路。电力系统为对称的三相系统，并假设三相短路是同时产生的，该短路型式称为对称短路或三相短路。

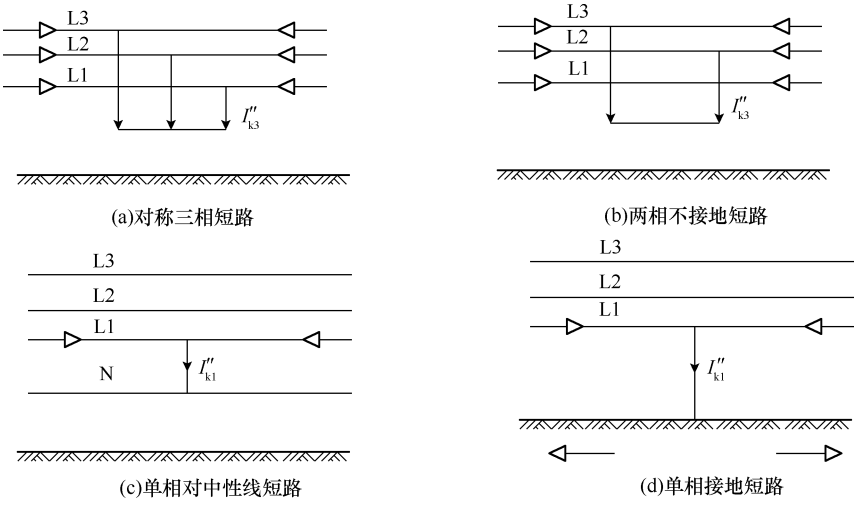
(4)不对称短路。除三相对称短路之外的短路称为不对称短路，本章只对以下三种不对称短路型式进行计算：

1)两相不接地短路；

2)单相对中性线短路；

3)单相接地短路。

如图 6-2 所示为短路型式和电流方向。



→短路电流;—▷—在导体和地中的支路短路电流

注:图中箭头方向为任意选定的电流流向。

图 6-2 短路型式和电流方向

6.1.2 高压系统短路电流计算

6.1.2.1 高压系统短路电流参数换算

《工业与民用配电设计手册》(第三版)

一、标幺制

标幺制是一种相对单位制,电参数的标幺值为其有名值与基值之比,即

容量标幺值 $$S_* = \frac{S}{S_j} \tag{6-1}$$

电压标幺值 $$U_* = \frac{U}{U_j} \tag{6-2}$$

电流标幺值 $$I_* = \frac{I}{I_j} \tag{6-3}$$

电抗标幺值 $$X_* = \frac{X}{X_j} \tag{6-4}$$

工程计算中通常首先选定基准容量 S_j 和基准电压 U_j,与其相应的基准电流 I_j 和基准电抗 X_j,在三相电力系统中可由下式导出

$$I_j = \frac{S_j}{\sqrt{3}U_j} \tag{6-5}$$

$$X_j = \frac{U_j}{\sqrt{3}I_j} = \frac{U_j^2}{S_j} \tag{6-6}$$

在三相电力系统中,电路元件电抗的标幺值 X_* 可表示为

$$X_* = \frac{X}{X_j} = \frac{\sqrt{3}I_jX}{U_j} = \frac{S_jX}{U_j^2} \tag{6-7}$$

基准容量可以任意选定。但为了计算方便，基准容量 S_j 一般取 100MVA；如为有限电源容量系统，则可选取向短路点馈送短路电流的发电机额定总容量 $S_{r\Sigma}$ 作为基准容量。基准电压 U_j 应取各电压级平均电压（线电压）U_{av}，即 $U_j=U_{av}=1.05U_n$（U_n 为系统标称电压），对于标称电压为 220/380V 的电压级，则计入电压系数 c（取 1.05），即 $1.05U_n=400V$ 或 0.4kV，常用基准值见表 6-1。

表 6-1 常用基准值 （$S_j=100MVA$）

系统标称电压 U_n/kV	0.38	3	6	10	35	110
基准电压 $U_j=U_{av}$①/kV	0.40	3.15	6.30	10.50	37	115
基准电流 I_j/kA	144.30	18.30	9.16	5.50	1.56	0.50

注：①$U_j=U_{av}\approx1.05U_n$，但对于 0.38kV，则 $U_j=cU_n=1.05\times0.38=0.4$(kV)。

采用标幺值计算短路电路的总阻抗时，必须先将元件阻抗的有名值和相对值按同一基准容量换算为标幺值，而基准电压采用各元件所在级的平均电压。电路元件阻抗标幺值和有名值的换算公式见表 6-2。

二、有名单位制

用有名单位制（欧姆制）计算短路电路的总阻抗时，必须把各电压级所在元件阻抗的相对值和欧姆值，都归算到短路点所在级平均电压下的欧姆值，其换算公式见表 6-2。

三、网络变换

网络变换的目的是简化短路电路，以求得电源至短路点间的等值总阻抗。

标幺制和有名单位制的常用电抗网络变换公式完全相同，详见表 6-3。

在简化短路电路过程中，如果各电路元件的电抗和电阻均需计入，则简化过程比较复杂。

当电路元件为串联时，总电抗和总电阻分别计算

$$\left.\begin{aligned}X_\Sigma&=X_1+X_2+\cdots(\Omega)\\R_\Sigma&=R_1+R_2+\cdots(\Omega)\end{aligned}\right\}\tag{6-8}$$

当两个电路元件为并联时，若两个并联元件的电阻与电抗的比值比较接近，则并联电路的总电阻和总电抗可按并联公式分别计算。

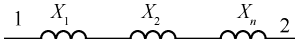
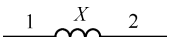
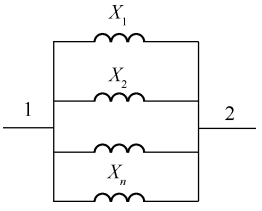
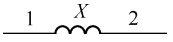
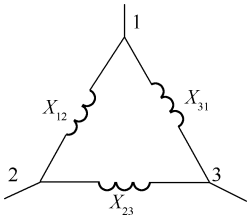
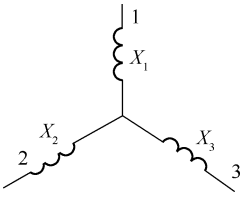
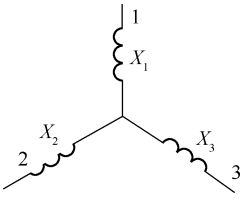
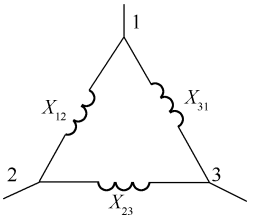
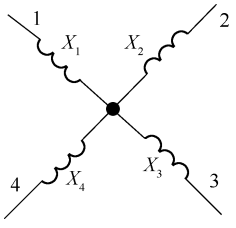
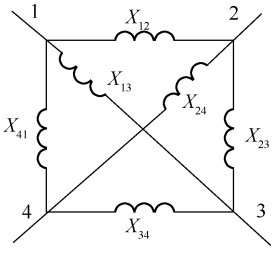
当 $\dfrac{R_1}{X_1}\approx\dfrac{R_2}{X_2}$ 时，则

$$\left.\begin{aligned}X_\Sigma&=\frac{X_1X_2}{X_1+X_2}\\R_\Sigma&=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}\end{aligned}\right\}\tag{6-9}$$

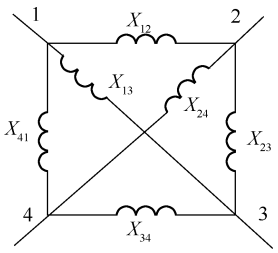
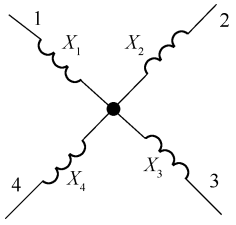
表 6-2　电路元件阻抗标幺值和有名值的换算公式

序号	元件名称	标幺值	有名值/Ω	符号说明
1	同步电机(同步发电机或电动机)	$X''_{*d}=\dfrac{x''_d\%}{100}\cdot\dfrac{S_j}{S_r}=X''_d\dfrac{S_j}{S_r}$	$X''_{*d}=\dfrac{X''_{*d}\%}{100}\cdot\dfrac{U_r^2}{S_r}=x''_d\cdot\dfrac{U_r^2}{S_r}$	S_r——同步电机的额定容量,MVA; S_{rT}——变压器的额定容量,MVA(对于三绕组变压器,是指最大容量绕组的额定容量); x''_d——同步电动机的超瞬态电抗相对值; $u_k\%$——同步电动机的超瞬态电抗百分值; $x_k\%$——变压器阻抗电压百分值; U_r——额定电压(指线电压),kV; I_r——额定电流,kA; X、R——线路每相电抗值、电阻值,Ω; S''_a——系统短路容量,MVA S_j——基准容量,MVA; I_j——基准电流,kA; ΔP——变压器短路损耗,kW; U_j——基准电压,kV,对于发电机实际是设备电压
2	变压器	$R_{*T}=\Delta P\dfrac{S_j}{S_{rT}^2}\times10^{-3}$ $X_{*T}=Z_{*T}^2-R_{*T}^2$ $Z_{*T}=\dfrac{u_k\%}{100}\cdot\dfrac{S_j}{S_{rT}}$ 当电阻值允许忽略不计时 $X_{*T}=\dfrac{u_k\%}{100}\cdot\dfrac{S_j}{S_r}$	$R_T=\dfrac{\Delta P}{3I_r^2}\times10^{-3}=\dfrac{\Delta PU_r^2}{S_{rT}^2}\times10^{-3}$ $X_T=\sqrt{Z_T^2-R_T^2}$ $Z_T=\dfrac{u_k\%}{100}\cdot\dfrac{U_r^2}{S_r}$ 当电阻值允许忽略不计时 $X_T=\dfrac{u_k\%}{100}\cdot\dfrac{U_r^2}{S_r}$	
3	电抗器	$X_{*T}=X_k\%\cdot\dfrac{U_r}{\sqrt{3}I_k}\cdot\dfrac{S_j}{U_j^2}$ $=\dfrac{X_k\%}{100}\cdot\dfrac{U_r}{I_r}\cdot\dfrac{I_j}{U_j}$	$X_k=\dfrac{X_k\%}{100}\cdot\dfrac{U_r}{\sqrt{3}I_r}$	
4	线路	$X_{*k}=\dfrac{X_k\%}{100}\cdot\dfrac{U_r}{\sqrt{3}I_r}\cdot\dfrac{S_j}{U_j^2}$ $=\dfrac{x_k\%}{100}\cdot\dfrac{U_r}{I_r}\cdot\dfrac{I_j}{U_j}$	$X_k=\dfrac{x_k\%}{100}\cdot\dfrac{U_r}{\sqrt{3}I_r}$	
5	电力系统(已知短路容量 S''_a)	$X_{*a}=\dfrac{S'_j}{S''_a}$	$X_a=\dfrac{U_j^2}{S''_a}$	
6	基准电压相同,从某一基准容量 S_{j1} 下的标幺值 X_{*1} 换算到另一基准容量 S_j 下的标幺值 X_*	$X_*=X_{*1}\dfrac{S_j}{S_{j1}}$		
7	将电压 U_{j1} 下的电抗值 X_1 换算到另一电压 U_{j2} 下的电抗值 X_2		$X_2=\dfrac{X_1U_{j2}^2}{U_{j1}^2}$	

表 6-3　常用电抗网络变换公式

原网络	变换后的网络	变算公式
		$X=X_1+X_2+\cdots+X_n$
		$X=\dfrac{1}{\dfrac{1}{X_1}+\dfrac{1}{X_2}+\cdots+\dfrac{1}{X_n}}$ 当只有两个支路时，$X=\dfrac{X_1X_2}{X_1+X_2}$
		$X_1=\dfrac{X_{12}X_{31}}{X_{12}+X_{23}+X_{31}}$ $X_2=\dfrac{X_{12}X_{23}}{X_{12}+X_{23}+X_{31}}$ $X_3=\dfrac{X_{23}X_{31}}{X_{12}+X_{23}+X_{31}}$
		$X_{12}=X_1+X_2+\dfrac{X_1X_2}{X_3}$ $X_{23}=X_2+X_3+\dfrac{X_2X_3}{X_1}$ $X_{31}=X_3+X_1+\dfrac{X_3X_1}{X_2}$
		$X_{12}=X_1X_2\Sigma Y$ $X_{23}=X_2X_3\Sigma Y$ $X_{24}=X_2X_4\Sigma Y$ 式中　$\Sigma Y=\dfrac{1}{X_1}+\dfrac{1}{X_2}+\dfrac{1}{X_3}+\dfrac{1}{X_4}$

续表

原网络	变换后的网络	变算公式
		$X_1=\dfrac{1}{\dfrac{1}{X_{12}}+\dfrac{1}{X_{13}}+\dfrac{1}{X_{41}}+\dfrac{X_{24}}{X_{12}X_{41}}}$ $X_2=\dfrac{1}{\dfrac{1}{X_{12}}+\dfrac{1}{X_{23}}+\dfrac{1}{X_{24}}+\dfrac{X_{13}}{X_{12}X_{23}}}$ $X_3=\dfrac{1}{1+\dfrac{X_{12}}{X_{23}}+\dfrac{X_{12}}{X_{24}}+\dfrac{X_{13}}{X_{23}}}$ $X_4=\dfrac{1}{1+\dfrac{X_{12}}{X_{13}}+\dfrac{X_{12}}{X_{41}}+\dfrac{X_{24}}{X_{41}}}$

6.1.2.2 高压系统电路元件的阻抗



《工业与民用配电设计手册》(第三版)



一、同步电机

同步电机的阻抗参数由电机制造厂提供。当数据缺少时,在近似计算中,亦可采用表 6-4 中所列的各类同步电机电抗平均值。

表 6-4 各类同步电机的电抗平均值

序号	同步电机类型		x''_d或$x_{(1)}$/(%)	$x_{(2)}$/(%)	$x_{(0)}$/(%)
1	汽轮发电机	≤50MW	14.5	17.5	7.5
		100～125MW	17.5	21.0	8.0
		200MW	14.5	17.5	8.5
		300MW	17.2	19.8	8.4
2	水轮发电机	无阻尼绕组时	29.0	45.0	11.0
		有阻尼绕组时	21.0	21.5	9.5
3	同步调相机		16.0	16.5	8.5
4	同步电动机		15.0	16.0	8.0

注:$x_{(1)}$、$x_{(2)}$、$x_{(0)}$表示正序电抗相对值、负序电抗相对值、零序电抗相对值。

二、异步电动机

高、低压异步电动机的超瞬态电抗相对值 x''_d可按下式计算

$$x''_d=\frac{1}{K_{qM}} \tag{6-10}$$

式中 K_{qM}——异步电动机的启动电流倍数,由产品样本查得。

三、电力变压器

三相双绕组电力变压器的电抗标幺值可按表 6-2 中有关公式计算。表 6-5 列出了常用规格三相双绕组变压器的电抗标幺值(S_j=100MVA)。

表 6-5 三相双绕组电力变压器的电抗标幺值

变压器容量/kVA	阻抗电压/(%)	S_j=100MVA时电抗标幺值	变压器容量/kVA	阻抗电压/(%)	S_j=100MVA时电抗标幺值
35/10.5(6.3)kV			12 500	10.5	0.84
1000	6.5	6.50	16 000		0.66
1250		5.20	20 000		0.53
1600		4.06	25 000		0.42
2000		3.25	10/6.3(3.15)kV		
2500		2.60	200	4	20.00
3150	7	2.22	250		16.00
4000		1.75	315		12.70
5000		1.40	400		10.00
6300	7.5	1.19	500		8.00
8000		0.94	630	4.5	8.73
10 000		0.75	800	5.5	6.88
12 500	8	0.64	1000		5.50
16 000		0.50	1250		4.40
20 000		0.40	1600		3.44
110/10.5(6.3)kV			2000		2.75
6300	10.5	1.67	2500		2.20
8000		1.31	3150		1.75
10 000		1.05	4000		1.38
			5000		1.10
			6300		0.87

三相三绕组电力变压器每个绕组的电抗百分值按下列公式计算

$$\left.\begin{aligned} x_1\%&=\frac{1}{2}(u_{k12}\%+u_{k13}\%-u_{k23}\%)\\ x_2\%&=\frac{1}{2}(u_{k12}\%+u_{k23}\%-u_{k13}\%)\\ x_3\%&=\frac{1}{2}(u_{k13}\%+u_{k23}\%-u_{k12}\%)\end{aligned}\right\} \tag{6-11}$$

式中 $u_{k12}\%$、$u_{k13}\%$、$u_{k23}\%$——每对绕组的阻抗电压百分值，其间相互关系见图 6-3。

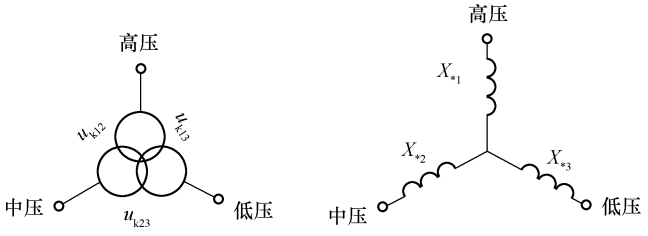


图 6-3 三相三绕组变压器等值变换

四、电抗器

电抗器的电抗标幺值及有名值的计算见表 6-2。

五、高压线路

对计算要求不十分精确时,可采用表 6-6 所列各种线路电抗的近似值。

表 6-6 高压线路每千米电抗近似值

线路种类	标称电压 U_n/kV	电抗 X/(Ω/km)	S_j=100MVA 时电抗标幺值 X_*
电缆线路	6	0.07	0.176
	10	0.08	0.073
	35	0.12	0.009
架空线路	6	0.35	0.882
	10	0.35	0.317
	35	0.40	0.029
	110	0.40	0.003

注:计算电抗标幺值时,所采用的基准电压 U_j 分别为 6.3、10.5、37、115kV。

6.1.2.3 高压系统短路电流计算

《工业与民用配电设计手册》(第三版)

规范引用

一、计算条件

(1)短路前三相系统是正常运行情况下的接线方式,不考虑仅在切换过程中短时出现的接线方式。

(2)设定短路回路各元件的磁路系统为不饱和状态,即认为各元件的感抗为一常数。若电网电压在 6kV 以上时,除电缆线路应考虑电阻外,网络阻抗一般可视为纯电抗(略去电阻);若短路电路中总电阻 R_Σ 大于总电抗 X_Σ 的 1/3,则应计入其有效电阻。

(3)电路电容和变压器的励磁电流略去不计。

(4)在短路持续时间内,短路相数不变,如三相短路保持三相短路,单相接地短路保持单相接地短路。

(5)电力系统中所有发电机电势相角都认为相同(大多数情况下相角很接近)。

(6)对于同类型的发电机,当它们对短路点的电气距离比较接近时,则假定它们的超瞬态电势的大小和变化规律相同。因此,可以用超瞬态网络(发电机用超瞬态电抗 X''_d来代表)进行网络化简,并将这些发电机合并成一台等值发电机。

(7)具有分接开关的变压器,其开关位置视为在主分接位置。

(8)电力系统为对称的三相系统。负荷只作近似的估计,并用恒定阻抗来代表。

二、远端短路的单电源馈电的三相短路电流初始值 I''_k

远离发电机端的(无限大电源容量的)网络发生短路时,即以电源容量为基准的计算电抗 $X_{*c}\geqslant 3$ 时,短路电流交流分量在整个短路过程不发生衰减,即 $I''_k=I_{0.2}=I_k$,见图 6-1(a)。其计算方法有:

(1)用标幺制计算。用标幺制计算时,三相短路电流初始值 I''_k按下式计算

$$I_{*k}=S_{*k}=I''_{*}==\frac{1}{X_{*c}} \tag{6-12}$$

$$I''_k=I_{*k}I_j=I''_{*}I_j=\frac{I_j}{X_{*c}} \tag{6-13}$$

$$S_k=S_{*k}S_j=I_{*k}S_j=I''_{*}S_j=\frac{S_j}{X_{*c}} \tag{6-14}$$

式中 I_{*k}——短路电流交流分量有效值的标幺值;

S_{*k}——短路容量标幺值;

X_{*c}——短路电路总电抗(计算电抗)标幺值;

I''_k——短路电流初始值,kA;

S_k——短路容量,MVA;

I_j——基准电流,kA;

S_j——基准容量,MVA。

(2)用有名单位制计算。用有名单位制计算时,三相短路电流初始值 I''_k按下式计算

$$I_k=I''_k=\frac{U_{av}}{\sqrt{3}X_c}(\text{kA}) \tag{6-15}$$

如果 $R_c>\frac{1}{3}X_c$,则应计入有效电阻 R_c,I''_k值应按下式计算

$$I_k=I''_k=\frac{U_{av}}{\sqrt{3}Z_c}=\frac{U_{av}}{\sqrt{3}\sqrt{R_c^2+X_c^2}}(\text{kA}) \tag{6-16}$$

以上式中 U_{av}——短路点所在级的网络平均电压(kV),见表 6-1;

Z_c——短路电路总阻抗(Ω);

R_c——短路电路总电阻(Ω);

X_c——短路电路总电抗(Ω)。

远端短路时,10～110kV 级常用变压器低压侧三相短路的短路容量见表 6-7。

表 6-7 远端短路时 10～110kV 级常用变压器低压侧三相短路短路容量

变压器容量/kVA	阻抗电压/(%)	变压器高压侧短路容量/MVA									
		30	50	75	100	150	200	250	300	500	∞
35/10.5(6.3)kV											
1000		10.17	11.76	12.76	13.33	13.95	14.28	14.49	14.63	14.92	15.3
1250		11.72	13.89	15.31	16.13	17.04	17.54	17.86	18.07	18.52	19.23
1600	6.5	13.52	16.50	18.54	19.76	21.15	21.92	22.41	22.75	23.46	24.62
2000		15.19	19.05	21.82	23.53	25.53	26.67	27.40	27.91	28.99	30.77
2500		16.85	21.74	25.42	27.78	30.61	32.26	33.33	34.09	35.71	38.46
3150		18.00	23.68	28.12	31.03	34.62	36.73	38.14	39.13	41.28	45.00
4000	7	19.67	26.67	32.43	36.36	41.38	44.44	46.51	48.00	51.28	57.14
5000		21.13	29.41	36.5	41.67	48.39	52.63	55.56	57.70	62.50	71.43
6300		22.11	31.31	39.62	45.65	53.85	59.15	62.87	65.62	71.92	84.00
8000	7.5	23.41	34.04	44.04	51.61	62.34	69.57	74.77	78.69	87.91	106.67
10 000		24.49	36.36	48.00	57.14	70.59	80.00	86.96	92.31	105.26	133.33
12 500		25.17	37.88	50.68	60.98	76.53	87.72	96.15	102.74	119.05	156.25
16 000	8	26.09	40.00	54.55	66.67	85.71	100.00	111.11	120.00	142.86	200.00
2 0000		30.00	41.67	57.69	71.43	93.75	111.11	125.00	136.36	166.67	250.00
110/10.5(6.3)kV											
6300		20.00	27.27	33.33	37.50	42.86	46.15	48.39	50.00	53.57	60.00
8000		21.52	30.19	37.80	43.24	50.53	55.17	58.39	60.76	66.12	76.19
10 000		22.81	32.79	41.96	48.78	58.25	64.52	68.97	72.29	80.00	95.24
12 500		23.96	35.21	46.01	54.35	66.37	74.63	80.65	85.23	96.16	119.05
16 000	10.5	25.07	37.65	50.26	60.38	75.59	86.49	94.67	101.05	116.79	152.38
20 000		25.92	39.60	53.81	65.57	83.92	97.56	108.11	116.51	137.93	190.48
25 000		26.64	41.32	57.03	70.42	92.03	108.70	121.95	132.74	161.51	238.10
31 500		27.27	42.86	60.00	75.00	100.00	120.00	136.36	150.00	187.50	300.00
40 000		27.81	44.20	62.66	79.21	107.62	131.15	150.94	167.83	216.22	380.95
200		4.29	4.55	4.69	4.76	4.84	4.88	4.90	4.92	4.95	5.00
250		5.17	5.56	5.77	5.88	6.00	6.06	6.10	6.12	6.17	6.25
315	4	6.24	6.81	7.13	7.30	7.49	7.58	7.64	7.68	7.76	7.88
400		7.50	8.33	8.82	9.09	9.38	9.52	9.62	9.68	9.80	10.00
500		8.82	10.00	10.71	11.11	11.54	11.76	11.90	12.00	12.20	12.50
630	4.5	8.29	9.32	9.93	10.27	10.64	10.83	10.95	11.03	11.19	11.45
800		9.8	11.27	12.19	12.70	13.26	13.56	13.75	13.88	14.14	14.55
1000		11.32	13.33	14.63	15.38	16.21	16.67	16.95	17.14	17.54	18.18
1250		12.93	15.63	17.44	18.52	19.74	20.41	20.84	21.13	21.74	22.73
1600		14.77	18.39	20.96	22.53	24.36	25.40	26.06	26.52	27.49	29.09
2000	5.5	16.44	21.05	24.49	26.66	29.27	30.77	31.74	32.43	33.90	36.36

续表

变压器容量/kVA	阻抗电压/(%)	变压器高压侧短路容量/MVA									
		30	50	75	100	150	200	250	300	500	∞
10/6.3(3.15)kV											
2500	5.5	18.07	23.81	28.30	31.25	34.88	37.03	38.46	39.47	41.66	45.45
3150		19.69	26.69	32.47	36.42	41.45	44.52	46.60	48.09	51.38	57.27
4000		21.24	29.63	36.92	42.11	48.98	53.33	56.34	58.54	63.49	72.73
5000		22.56	32.26	41.10	47.62	56.60	62.50	66.67	69.77	76.92	90.91
6300		23.77	34.81	45.32	53.39	64.95	72.83	78.56	82.90	93.20	114.55

注：①本表数据按下式计算而得

$$S_{k2}=\frac{S_{k1}S_k}{S_{k1}+S_k}$$

式中 S_{k2}——变压器低压侧三相短路的短路容量(MVA)；

S_{k1}——变压器高压侧短路容量(MVA)；

S_k——变压器本身短路容量(MVA)，其值等于高压侧接入无限大电源容量时的低压侧短路容量，即 $S_k=\frac{100S_{rT}}{u_k\%}$；

S_{rT}——变压器的额定容量(MVA)；

$u_k\%$——变压器阻抗电压百分值。

②粗线框以右部分为变压器低压侧发生短路时，以变压器高压侧短路容量为基准的计算电抗 $X_{*c}\geqslant 3$ 或以变压器高压侧短路容量为基准的变压器计算电抗 $X_{*c\cdot T}\geqslant 2$，其计算式为

$$X_{*c}=\frac{S_j}{S_{k1}}+\frac{S_j}{S_k}=\frac{S_{k1}}{S_{k1}}+\frac{S_{k1}}{S_k}=1+\frac{S_{k1}}{S_k}=1+\frac{S_{k1}}{100S_{rT}/u_K\%}=1+\frac{u_K\%/100}{S_{rT}/S_{k1}}$$

$$X_{*c\cdot T}=\frac{S_j}{S_k}=\frac{S_{k1}}{S_k}=\frac{S_{k1}}{100S_{rT}/u_K\%}=\frac{u_K\%/100}{S_{rT}/S_{k1}}$$

三、近端短路的一台发电机馈电的三相短路电流初始值 I''_k 的计算

1. 按公式计算

靠近发电机端或有限电源容量的网络发生短路的主要特点是：电源母线上的电压在短路发生后的整个过渡过程不能维持恒定，短路电流交流分量随之变化，见图 6-1(b)，电源的内阻抗不能忽略不计。

短路电流的变化与发电机的电参数及电压自动调整装置的特性有关。工程设计中常采用运算曲线法计算短路过程某一时刻的短路电流交流分量。因为同步电机的转子绕组(等效阻尼绕组及励磁绕组)的磁链在突然短路瞬间不能突变，与转子绕组的磁链成正比的超瞬态电动势 E''，在突然短路瞬间仍保持短路前的数值，因此短路电流交流分量的起始值，即超瞬态短路电流有效值 I''_k 可利用公式直接计算。

对于汽轮发电机。

$$I''_k=\frac{E''}{\sqrt{3}(X''_d+X_w)}(\text{kA}) \tag{6-17}$$

或

$$I''_k=\frac{I_j}{X''_{*d}+X_{*w}}(\text{kA}) \tag{6-18}$$

对于水轮发电机

$$I''_{k}=\frac{KE''}{\sqrt{3}(X''_{d}+X_{w})}=\frac{KI_{j}}{X''_{*d}+X_{*w}} \tag{6-19}$$

式中 I_j——基准电流(kA);

E''——发电机超瞬态电动势,工程计算中可以认为 $E''\approx U_{rG}$,kV;

U_{rG}——发电机额定电压(kV),$U_{rG}=1.05U_n$;

U_n——系统标称电压(kV);

X''_d——发电机超瞬态电抗(Ω);

X_w——自发电机出口至短路点间的短路电路电抗(Ω);

X''_{*d}、X_{*w}——以发电机额定总容量 $S_{n\Sigma}$ 为基准容量的 X''_d 和 X_w 的标幺值;

K——考虑到水轮发电机的超瞬态电抗 X''_d 值比较大而引入的计算系数,见表 6-8。

表 6-8 水轮发电机的计算系数 K 值

发电机型式	$X''_{*d}+X_{*w}=X_{*c}$ 为下列诸值时								
	0.2	0.27	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.5	≥2
无阻尼绕组		1.16	1.14	1.1	1.07	1.05	1.03	1.02	1
有阻尼绕组	1.11	1.07	1.07	1.05	1.03	1.02	1	1	1

2.按发电机运算曲线计算

用运算曲线或查相对应的发电机运算曲线数字计算交流分量是十分简便的。由于在制定运算曲线时计及了同步电机的过渡过程和负荷对交流分量的影响,因而也是比较准确的。用运算曲线计算交流分量的步骤如下:

(1)网络简化。根据计算条件,首先去掉系统中所有负荷、线路电容、并联电抗等,同时忽略系统各元件的电阻,发电机用超瞬态电抗 X''_d 来代表,将电气距离(对短路点而言)大致相等的,同类型的发电机合并为一台等值电机,用统一的基准容量(如 1000MVA 或 100MVA)和平均额定电压(如 230、115、37kV 等)归算系统各元件电抗的标幺值,进行网络简化,求得各电源对短路点的等值电抗。

(2)求计算用电抗 X_c。运算曲线 $I_{kt}=f(X_c,t)$ 的自变量 X_c,是以其相应发电机的额定容量为基准容量的标幺电抗值。在使用运算曲线时,应将各电源对短路点的等值电抗归算到以本电源等值发电机的额定容量为基准容量的标幺值,这个电抗称为计算用电抗 X_c。

(3)求 ts 短路电流交流分量的标幺值。根据求得的各个电源对短路点的 X_c,查相应的 ts 运算曲线,或查相对应的发电机运算曲线数字表,即可求得交流分量的标幺值。

(4)求 ts 短路电流交流分量的有名值。由运算曲线查得的短路电流标幺值 I_*,乘以相应电源的基准电流 $I_{r\cdot j}$(由等值发电机的额定容量和相应的平均额定电压求得),即得到该分支短路电流交流分量的有名值

$$I_{kt}=I_*I_{r\cdot j} \tag{6-20}$$

(5)参数的差异所引起的交流分量的修正。当发电机的参数与"标准参数"有较大差别时,为提高计数的精确度,可对交流分量进行修正计算。同步发电机的标准参数见表 6-9。

表 6-9 同步发电机的标准参数

发电机类型	X_d(B)	X'_d(B)	X''_d(B)	X_q(B)	X''_q(B)	T'_{d0}(B)(s)	T''_{d0}(B)(s)	T''_{q0}(B)(s)	T_d(B)(s)	T'_d(B)(s)	T''_d(B)(s)	cosφ
汽轮发电机	1.9040	0.2150	0.1385	0.9040	0.1385	9.0283	0.1819	2.0125	0.2560	1.0195	0.1172	0.825
水轮发电机	0.9851	0.3025	0.2055	0.6423	0.2257	5.9000	0.0673	0.1581	0.2124	1.8117	0.0457	0.850

如果实际电源的发电机的时间常数 T 与表 6-9 所示数值相差较大时，则查曲线时应用修正后的短路时间。

当 $t\leqslant 0.06$s 时，交流分量处于超瞬态过程，可用换算过的时间 t''代替实际短路时间 t 来查曲线，以求得 ts 的实际短路电流。t''的计算式为

$$t''=\frac{T''_d(B)}{T''_d}t \tag{6-21}$$

当 $t>0.06$s 时，交流分量处于瞬态过程，可用换算过的时间 t'代替实际短路时间 t 来查曲线，以求得 t's 的实际短路电流。t'的计算式为

$$t'=\frac{T'_d(B)}{T'_d}t \tag{6-22}$$

以上式中 $T''_d(B)$、T''_d——发电机的短路超瞬态时间常数，$T''_d(B)=\frac{X''_d(B)}{X'_d(B)}T''_{d0}(B)$、$T''_d=\frac{X''_d}{X'_d}T''_{d0}$；

$T''_{d0}(B)$、T''_{d0}——发电机的开路超瞬态时间常数；

$T'_d(B)$、T'_d——发电机的短路瞬态时间常数，$T'_d(B)=\frac{X'_d(B)}{X_d(B)}T'_{d0}(B)$，$T'_d=\frac{X'_d}{X_d}T'_{d0}$；

$T'_{d0}(B)$、T'_{d0}——发电机的开路瞬态时间常数；

$X''_d(B)$、X''_d——发电机的超瞬态电抗；

$X'_d(B)$、X'_d——发电机的瞬态电抗；

$X_d(B)$、X_d——发电机的同步电抗。

以上各式中带有标号(B)的是标准参数，不带标号(B)的是发电机的实际参数。

四、短路点由多个电源供电的三相短路电流初始值 I''_k的计算

若一个网络是由参数条件相差悬殊的多个电源供电，则在绘制短路电流计算网络时，应将参数条件相近的电源合并，分成几个等效电源组。然后分别算出各等效电源组向短路点提供的短路电流，最后将各组提供的短路电流相加，即得到通过短路点的全部短路电流。

电源参数条件是指发电机型式、电源容量以及电源至短路点的阻抗大小等。图 6-4(a)给出了多电源供电的例子。例中假设电源 1 和 2，3 和 4 的参数条件相近，均为有限电源容量；电源 5 为无限大电源容量。下面以计算短路点 k 的三相短路电流交流分量为例，叙述计算步骤：

(1)将各电源的内电抗 x''_d和支路外电抗 x_w按同一基准容量 S_j(一般 $S_j=100$MVA)归算为标幺值，再将各电源及其所在的支路电抗合并成一个等效标幺电抗 X_*，见图 6-4(b)。

(2)将各电源按其参数条件分组合并，电源 S_{r1} 和 S_{r2} 合并为 $S_{r\Sigma 1}$，电源 S_{r3} 和 S_{r4} 合并为 $S_{r\Sigma 2}$；支路电抗 X_{*1} 和 X_{*2} 合并为 X_{*11}，X_{*3} 和 X_{*4} 合并为 X_{21}，见图 6-4(c)。

(3)消去公共支路电抗 X_{*6}，求出各组电源至短路点 k 之间的等值电抗，见图 6-4(d)。图中

$$\left.\begin{aligned}X_{*12}&=X_{*\Sigma}/C_1\\X_{*22}&=X_{*\Sigma}/C_2\\X_{*52}&=X_{*\Sigma}/C_3\end{aligned}\right\} \tag{6-23}$$

式中 $X_{*\Sigma}$——短路电路的总电抗,且有

$$X_{*\Sigma}=\frac{X_{*11}X_{*21}X_{*5}}{X_{*11}X_{*21}+X_{*21}X_{*5}X_{*5}X_{*11}}+X_{*6}$$

C_1、C_2、C_3——分布系数,且有

$$C_1=\frac{X_{*21}X_{*5}}{X_{*11}X_{*21}+X_{*21}X_{*5}+X_{*5}X_{*11}}$$

$$C_2=\frac{X_{*11}X_{*5}}{X_{*11}X_{*21}+X_{*21}X_{*5}X_{*5}X_{*11}}$$

$$C_3=\frac{X_{*11}X_{*21}}{X_{*11}X_{*21}+X_{*21}X_{*5}X_{*5}X_{*11}}$$

对于同一个短路点,应有 $C_1+C_2+C_3+\cdots+C_n=1$。

(4)将 X_{*12} 和 X_{*22} 分别归算到以 $S_{r\Sigma1}$ 和 $S_{r\Sigma2}$ 为基准容量的标幺值 X_{*c1} 和 X_{*c2}。至于 X_{*52},因为该支路由无限大电源容量供电,故可不换算。取 $X_{*c3}=X_{*52}$,见图 6-4(e)。

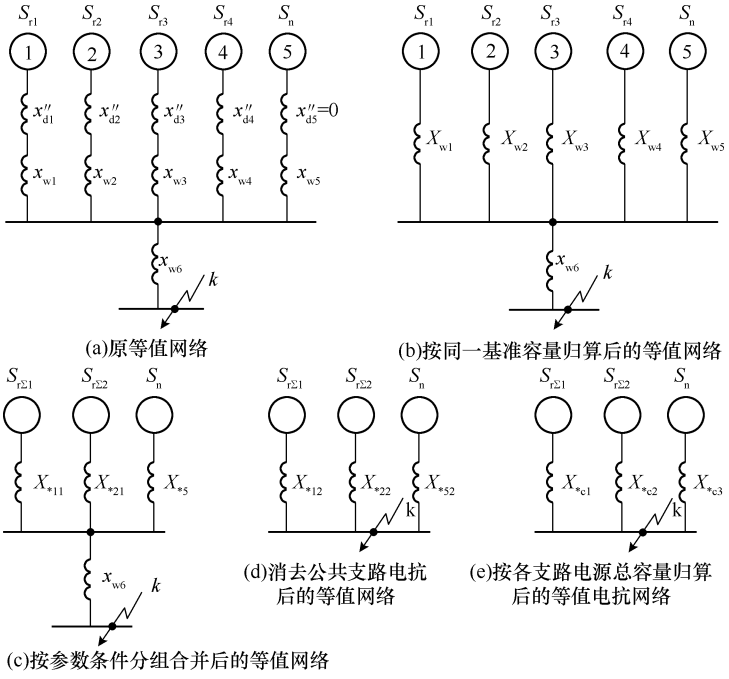


图 6-4 多电源网络短路电流计算程序

(5)根据电源组Ⅰ和Ⅱ的发电机类型及其所在支路的标幺值 X_{*c1} 和 X_{*c2},即可从相应的运算曲线上查出某一时刻 t 由电源组Ⅰ和Ⅱ通过相应支路,送到短路点去的短路电流交流分量标幺值 I''_{*1} 和 I''_{*2};支路Ⅲ采用式(6-18),按无限大电源容量系统计算,即 $I''_{*3}=\dfrac{1}{X_{*c3}}$。

(6)求出各组电源送到短路点去的短路电流交流分量有效值 I''_1、I''_2、I''_3。此三路电流之和即为通过短路点 k 的全部短路电流 I''_Σ,即

$$I''_\Sigma=I''_1+I''_2+I''_3(\text{kA}) \tag{6-24}$$

式中 $I''_1=I''_{*1}\dfrac{S_{r\Sigma1}}{\sqrt{3}U_j}$;$I''_2=I''_{*2}\dfrac{S_{r\Sigma2}}{\sqrt{3}U_j}$;$I''_3=I''_{*3}\dfrac{S_j}{\sqrt{3}U_j}=\dfrac{S_j}{\sqrt{3}U_jX_{*c3}}$。

如果支路Ⅰ或Ⅱ的等效电抗标幺值 $X_{*c}\geqslant 3$，则通过该支路的短路电流交流分量有效值 I'' 在整个短路过渡过程中可以认为不衰减，因而可以按无限大电源容量系统考虑，直接用公式算出，即

$$I''=\frac{S_{r\Sigma}}{\sqrt{3}U_j X_{*c}}(\text{kA})$$

五、三相短路电流峰值 i_p（即短路全电流最大瞬时值）的计算和全电流最大有效值 I_p 的计算

根据短路电流变化可知，短路全电流峰值 i_p 包含交流分量 i_{AC} 和直流分量 i_{DC}。短路电流直流分量的起始值 $A=\sqrt{2}I''_k$，短路全电流峰值 i_p 出现在短路发生后的半周期（0.01s）内的瞬间，其值可按下式计算

$$i_p=K_p\sqrt{2}I''_k \tag{6-25}$$

短路全电流最大有效值 I_p 按下式计算

$$I_p=I''_k\sqrt{1+2(K_p-1)^2} \tag{6-26}$$

式中　K_p——短路电流峰值系数，$K_p=1+e^{-\frac{0.01}{T_f}}$；

T_f——短路电流直流分量衰减时间常数（s），当电网频率为 50Hz 时，$T_f=\dfrac{X_\Sigma}{314R_\Sigma}$；

X_Σ——短路电路总电抗（Ω）；

R_Σ——短路电路总电阻（Ω）。

如果电路只有电抗，则 $T_f=\infty$，$K_p=2$；如果电路只有电阻，则 $T_f=0$，$K_p=1$；可见 $2\geqslant K_p\geqslant 1$。

K_p 与 $\dfrac{X_\Sigma}{R_\Sigma}$ 的数值关系见图 6-5 所示曲线。工程设计中 K_p 的取值以及 i_p 计算值如下：

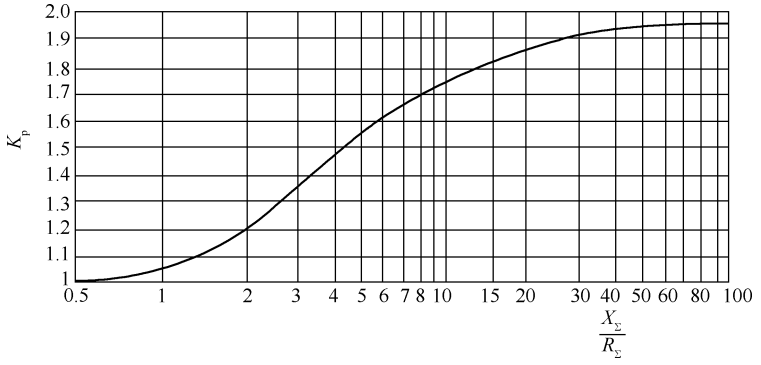


图 6-5　K_p 与比值 $\dfrac{X_\Sigma}{R_\Sigma}$ 的关系曲线

1）当短路发生在发电机端时，取 $K_p=1.9$，$i_p=2.69I''_k$，$I_p=1.62I''_k$。

2）当短路发生在发电厂高压侧母线时，取 $K_p=1.85$，$i_p=2.62I''_k$，$I_p=1.56I''_k$。

3）当短路点远离发电厂，短路电路的总电阻较小，总电抗较大（$R_\Sigma\leqslant\dfrac{1}{3}X_\Sigma$）时，$T_f\approx 0.05$s，取 $K_p=1.8$，$i_p=2.55I''_k$，$I_p=1.51I''_k$。

4）在电阻较大（$R_\Sigma>\dfrac{1}{3}X_\Sigma$）的电路中，发生短路时，短路电流非周期分量衰减较快，可取 $K_p=1.3$，$i_p=1.84I''_k$，$I_p=1.09I''_k$。

六、电动机对短路电流的影响

(1)同步电动机在短路计算中,按同步发电机处理。高压同步电动机对短路电流的影响可按有限电源容量考虑。同步电动机在短路过渡过程任一时刻,所给出的短路电流周期分量可利用运算曲线计算。如果同步电动机的励磁绕组时间常数 T_d 与制订曲线的标准参数(表 6-9)相差较大时,则时间 t 应按式(6-21)和式(6-22)修正。而励磁系统时间常数 T_e 对周期分量的影响很小,可不修正。

(2)高压异步电动机对短路电流的影响,只有在计算电动机附近短路点的短路峰值电流时才予以考虑。在下列情况下,可不考虑高压异步电动机对短路峰值电流影响:

1)异步电动机与短路点的连接已相隔一个变压器;

2)在计算不对称短路电流时。

(3)异步电动机提供的反馈电流的计算:

1)由一台异步电动机提供的反馈电流周期分量初始值按下式计算

$$I''_{M}=K_{stM}I_{rM}\times10^{-3}(kA) \tag{6-27}$$

2)由 n 台异步电动机提供的反馈电流周期分量初始值按下式计算

$$I''_{M}=\sum_{i=1}^{n}K_{stM}I_{rM}\times10^{-3}(kA) \tag{6-28}$$

3)由 n 台异步电动机提供的反馈电流峰值电流按下式计算

$$I_{pM}=1.1\times\sqrt{2}\sum_{i=1}^{n}K_{pMi}K_{stMi}I_{rMi}\times10^{-3}(kA) \tag{6-29}$$

以上式中 I''_{M}——电动机反馈电流交流分量初始值(有效值)(kA);

K_{stM}——电动机反馈电流倍数,可取其启动电流倍数值;

K_{stMi}——第 i 台电动机的反馈电流倍数,可取启动电流倍数值;

I_{rM}——电动机额定电流;

I_{rMi}——第 i 台电动机额定电流;

K_{pMi}——第 i 台电动机反馈电流峰值系数。

(4)计入异步电动机影响后的短路电流:

1)三相短路电流交流分量初始值

$$I''_{k}=I''_{s}+I''_{M}(kA) \tag{6-30}$$

2)短路电流峰值

$$i_{p}=i_{ps}+i_{pM}=\sqrt{2}(K_{ps}I''_{s}+1.1K_{pM}I''_{M})(kA) \tag{6-31}$$

以上式中 I''_{s}——由系统送到短路点的三相短路电流初始值;

I''_{M}——由短路点附近的异步电动机反馈的电流初始值;

i_{pa}——由系统送到短路点的短路电流峰值;

i_{pM}——由短路点附近的电动机反馈的短路峰值电流;

K_{ps}——由系统馈送的短路电流峰值系数;

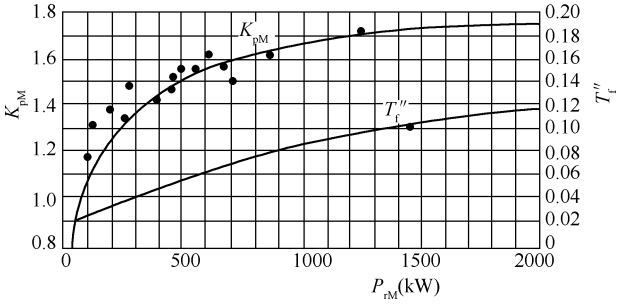
K_{pM}——由异步电动机馈送的短路电流峰值系数,一般可取 1.4、1.7,正确数据可查图 6-6。

七、两相不接地短路电流的计算

两相不接地短路电流初始值 I''_{k2} 的计算公式如下:

对于汽轮发电机

$$I''_{k2}=\frac{E''}{2(X''_{d}+X_{w})}(kA) \tag{6-32}$$



T''_f—反馈电流周期分量衰减时间常数

图 6-6　异步电动机额定容量 P_{rM} 与冲击系数 K_{pM} 的关系

对于水轮发电机

$$I''_{k2}=\frac{KE''}{2(X''_d+X_w)}(\text{kA}) \tag{6-33}$$

将两相短路超瞬态电流计算公式与三相短路超瞬态电流计算公式相除，得

$$\frac{I''_{k2}}{I''_{k3}}=\frac{\sqrt{3}}{2}=0.866 \tag{6-34}$$

而 $i_p I_p$ 均正比于 I''_k，故

$$I''_{k2}=0.866I''_{k3}\,;i_{pk2}=0.866i_{pk3}\,;I_{pk2}=0.866I_{pk3} \tag{6-35}$$

两相短路稳态电流 I_{k2} 与三相短路稳态电流 I_{k3} 的比值关系，视短路点与电源的距离远近而定：

(1)在发电机出口处发生短路时

$$I_{k2}=1.5I_{k3}(\text{kA}) \tag{6-36}$$

(2)在远距离点短路时，即 $X_{*c}>3$ 时，因 $I_k=I''_k$，故

$$I_{k2}=0.866I_{k3}(\text{kA}) \tag{6-37}$$

(3)一般可这样估算

$$\begin{aligned} &X_{*c}>0.6\text{ 时},I_{k2}<I_{k3}\\ &X_{*c}\approx 0.6\text{ 时},I_{k2}=I_{k3}\\ &X_{*c}<0.6\text{ 时},I_{k2}>I_{k3} \end{aligned} \tag{4-38}$$

在靠近发电机端短路时，两相短路电流的交流分量亦可利用三相短路的运算曲线进行近似计算，其方法是以两倍的 X_{*c}（X_{*c} 为计算三相短路电流用的短路电路电抗的标幺值）作横坐标，从运算曲线上查得 X_{*z}，然后按下式求出两相短路电流在某一时刻 t 的交流分量有名值 I_{zk2}。

$$I_{zk2}=\sqrt{3}\,I_{*z}I_{r\Sigma}(\text{kA}) \tag{6-39}$$

式中　$I_{r\Sigma}$——有限电源容量系统向短路点馈送短路电流时所有发电机额定电流的总和，kA。

八、单相接地电容电流的计算

电网中的单相接地电容电流由电力线路和电力设备（同步发电机、大容量同步电动机及变压器等）两部分的电容电流组成。电力设备的电容电流见表 6-10。

表 6-10　变电所增加的接地电容电流值

额定电压/kV	6	10	15	35	63	110
附加值/(%)	18	16	15	13	12	10

(1)电缆线路的单相接地电容电流按下式计算:

6kV 电缆线路 $$I_C=\frac{95+2.84S}{2200+6S}U_r l(\mathrm{A}) \tag{6-40}$$

10kV 电缆线路 $$I_C=\frac{95+1.44S}{2200+0.23S}U_r l(\mathrm{A}) \tag{6-41}$$

电缆线路的单相接地电容电流还可以按下式估算

$$I_C=0.1U_r l(\mathrm{A}) \tag{6-42}$$

以上式中 S——电缆芯线的标称截面(mm^2);

U_r——线路额定线电压(kV);

l——线路长度(km);

I_C——接地电容电流(A)。

(2)架空线路单相接地电容电流按下式计算:

无架空地线单回路 $$I_C=2.7U_r l\times10^{-3}(\mathrm{A}) \tag{6-43}$$

有架空地线单回路 $$I_C=3.3U_r l\times10^{-3}(\mathrm{A}) \tag{6-44}$$

架空线路的单相接地电容电流还可以按下式估算

$$I_C=\frac{U_r l}{350}(\mathrm{A}) \tag{6-45}$$

架空线路和电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值见表 6-11。

表 6-11 架空线路和电缆线路每千米单相接地电容电流的平均值 (A/km)

电压	电缆线路,当芯线截面为下列诸值时/mm^2											架空线路	
/kV	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	单回路	双回路
6	0.33	0.37	0.46	0.52	0.59	0.71	0.82	0.89	1.10	1.20	1.30	0.013	0.017
10	0.46	0.52	0.62	0.69	0.77	0.90	1.00	1.10	1.30	1.40	1.60	0.0256	0.035
35	—	—	—	—	—	3.70	4.10	4.40	4.80	5.20	—	0.078	0.102
												(0.091)	(0.110)

注:括号内数字用于有架空地线的架空线路。

6.1.3 低级系统短路电流计算

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

在计算三相短路电流时阻抗指的是元件的相阻抗,即相正序阻抗。因为已经假定系统是对称的,发生三相短路时只有正序分量存在,所以不需要特别提出序阻抗的概念。

在计算单相短路(包括单相接地故障)电流时,则必须提出序阻抗和相保阻抗的概念。在低压网络中发生不对称短路时,由于短路点离发电机较远,因此可以认为所有元件的负序阻抗等于正序阻抗,即等于相阻抗。

TN 接地系统低压网络的零序阻抗等于相线的零序阻抗与 3 倍保护线(即 PE、PEN 线)的零序阻抗之和,即

$$\begin{aligned}\dot{Z}_{(0)}&=\dot{Z}_{(0)\cdot ph}+3\dot{Z}_{(0)\cdot p}\\ R_{(0)}&=R_{(0)\cdot ph}+3R_{(0)\cdot p}\\ X_{(0)}&=X_{(0)\cdot ph}+3X_{(0)\cdot p}\end{aligned} \tag{6-46}$$

TN 接地系统低压网络的相保阻抗与各序阻抗的关系可从下式求得

$$Z_{ph\cdot p}=\frac{\dot{Z}_{(1)}+\dot{Z}_{(2)}+\dot{Z}_{(3)}}{3}$$

$$R_{ph\cdot p}=\frac{R_{(1)}+R_{(2)}+R_{(0)}}{3}=\frac{2R_{(1)}+R_{(0)}}{3} \tag{6-47}$$

$$X_{ph\cdot p}=\frac{X_{(1)}+X_{(2)}+X_{(}0)}{3}=\frac{2X_{(1)}+X_{(0)}}{3}$$

一、高压侧系统阻抗

在计算220/380V网络短路电流时，变压器高压侧系统阻抗需要计入。若已知高压侧系统短路容量为S''_s，则归算到变压器低压侧的高压系统阻抗可按下式计算

$$z_s=\frac{(cU_n)^2}{S''_s}\times 10^3(\text{m}\Omega) \tag{6-48}$$

如不知道其电阻R_s和X_s的确切值，可以认为

$$R_s=0.1X_s,X_s=0.995Z_s$$

以上式中 U_n——变压器低压侧标称电压，0.38kV；

c——电压系数，计算三相短路电流时取1.05；

S''_s——变压器高压侧系统短路容量(MVA)；

R_s、X_s、Z_s——归算到变压器低压侧的高压系统电阻、电抗、阻抗(mΩ)。

至于零序阻抗，Dyn11和Yyn0连接的配电变压器，当低压侧发生单相短路时，零序电流不能在高压侧绕组流通，高压侧对于零序电流相当于开路状态，故在计算单相接地短路电流时视若无此阻抗。10(6)/0.4kV配电变压器高压侧系统短路容量与高压侧系统阻抗、相保阻抗(归算到400V)的数值关系见表6-12所列。

表6-12 10(6)/0.4kV变压器高压侧系统短路容量与高压侧阻抗、相保阻抗(归算到400V)的数值关系 (单位：mΩ)

高压侧短路容量 S''_s/MVA	10	20	30	50	75	100	200	300	∞
$Z_s^{①}$	16.00	8.00	5.33	3.20	2.13	1.60	0.80	0.53	0
$X_s^{②}$	15.92	7.96	5.30	3.18	2.12	1.59	0.80	0.53	0
$R_s^{②}$	1.59	0.80	0.53	0.32	0.21	0.16	0.08	0.05	0
$R_{php*s}^{③}$	1.06	0.53	0.35	0.21	0.14	0.11	0.05	0.03	0
$X_{php*s}^{③}$	10.61	5.31	3.53	2.12	1.41	1.06	0.53	0.35	0

注：①系统阻抗 $Z_s=\frac{U_{av}^2}{S''_s}\times 10^3=\frac{160}{S''_a}$ mΩ；U_{av}——系统平均电压。

②系统电抗 $X_s=0.995Z_s$，系统电阻 $R_s=0.1X_s$。

③对于Dyn11或Yyn0连接变压器，零序电流不能在高压侧流通，故不计入高压侧的零序阻抗 $R_{(0)*s}$、$X_{(0)*s}$，即

相保电阻：$R_{php*s}=\frac{1}{3}(R_{(1)*s}+R_{(2)*s}+R_{(0)\cdot s})=\frac{2R_{(1)*s}}{3}=\frac{2R_s}{3}$(mΩ)

相保电抗：$X_{php*s}=\frac{1}{3}(X_{(1)*s}+X_{(2)*s}+X_{(0)\cdot s})=\frac{2X_{(1)*s}}{3}=\frac{2X_s}{3}$(mΩ)

二、10(6)/0.4kV三相双绕组配电变压器的阻抗

配电变压器的正序阻抗可按表4-2(原规范中)中有关公式计算，变压器的负序阻抗等于正序阻抗。Yyn0连接的变压器的零序阻抗比正序阻抗大得多，其值由制造厂通过测试提供；Dyn11连接变压器的零序阻抗如果没有测试数据，可取其值等于正序阻抗值，即相阻抗。表6-13及表6-14列出了几种变压器的各序阻抗值和相保阻抗值。

表 6-13　S9、S9－M 系列 10(6)/0.4kV 变压器的阻抗平均值(归算到 400V 侧)

型号	电压/kV	容量/kVA	阻抗电压/(%)	负载损耗/kW	电阻/mΩ			电抗/mΩ			电阻/mΩ			电抗/mΩ		
					D,yn11			D,yn11			Y,yn0			Y,yn0		
					正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保
					$R_{(1)}$、$R_{(2)}$ R	$R_{(0)}$	R_{php}	$X_{(1)}$、$X_{(2)}$ X	$X_{(0)}$	X_{php}	$R_{(1)}$、$R_{(2)}$ R	$R_{(0)}$	R_{php}	$X_{(1)}$、$X_{(2)}$ X	$X_{(0)}$	X_{php}
S9 S9－M	10/0.4	250	4	2.50 (2.60)	10	10	10	30.40	30.40	30.40	10 (10.40)	36	18.67 (18.93)	30.40 (30.26)	116	58.93 (58.84)
		250	4	3.05	7.81	7.81	7.81	23.75	23.75	23.75	7.81	29.2	14.94	23.75	100.2	49.23
		315	4	3.65	5.89	5.89	5.89	19.43	19.43	19.43	5.89	20.3	10.69	19.43	79.7	39.52
		400	4	4.30	4.30	4.30	4.30	15.41	15.41	15.41	4.30	115.1	7.90	15.41	63	31.27
		500	4	5.10	3.26	3.26	3.26	12.38	12.38	12.38	3.26	12.48	6.33	12.38	53.1	25.95
		630	4.5	6.20	2.50	2.50	2.50	11.15	11.15	11.15	2.50	8.7	4.57	11.15	40.24	20.85
		800	4.5	7.50	1.88	1.88	1.88	8.8	8.8	8.8	1.88	6.5	3.42	8.8	31.80	16.47
		1000	4.5	10.30	1.65	1.65	1.65	7.0	7.0	7.0	1.65	5.8	3.03	7.0	28.20	14.07
		1250	4.5	12.00	1.23	1.23	1.23	5.63	5.63	5.63	1.23	4.4	2.29	5.63	22.6	11.29
		1600	4.5	20.00 (14.5)	1.25	1.25	1.25	4.32	4.32	4.32	1.25 (0.91)	3.2	1.9 (1.67)	4.32 (4.41)	17.1	8.58 (8.64)

注:括号内数值为 S9－M 系列变压器数值

表 6-14　SC(B)9 系列 10(6)/0.4kV 变压器的阻抗平均值(归算到 400V 侧)

型号	电压/kV	容量/kVA	阻抗电压/(%)	负载损耗/kW	电阻/mΩ			电抗/mΩ			电阻/mΩ			电抗/mΩ		
					Dyn11			Dyn11			Yyn0			Yyn0		
					正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保	正、负序	零序	相保
					$R_{(1)}$、$R_{(2)}$ R	$R_{(0)}$	R_{php}	$X_{(1)}$、$X_{(2)}$ X	$X_{(0)}$	X_{php}	$R_{(1)}$、$R_{(2)}$ R	$R_{(0)}$	R_{php}	$X_{(1)}$、$X_{(2)}$ X	$X_{(0)}$	X_{php}
SC9	10/0.4	160	4	1.98	12.38	12.38	12.38	38.04	3804	38.04	12.38	37.4	20.72	38.04	405	160.36
		200	4	2.24	8.96	8.96	8.96	29.93	29.93	29.93	8.96	35.46	17.79	29.93	359.8	139.89
		250	4	2.41	6.17	6.17	6.17	24.85	24.85	24.85	6.17	33.03	15.12	24.85	303.4	117.70
		315	4	3.10	5.00	5.00	5.00	19.70	19.70	19.70	5.00	29.86	13.29	19.70	230	89.8
		400	4	3.60	3.60	3.60	3.60	15.59	15.59	15.59	3.60	16.88	8.03	15.59	214.8	81.99
SCB9		500	4	4.30	2.75	2.75	2.75	12.50	12.50	12.50	2.75	12.88	6.13	12.50	177.7	67.57
		630	4	5.40	2.18	2.18	2.18	9.92	9.92	9.92	2.18	10.19	4.85	9.92	150.1	56.65
		630	6	5.60	2.26	2.26	2.26	15.07	15.07	15.07	2.26	11.44	5.32	15.07	197.8	75.98
		800	6	6.60	1.65	1.65	1.65	11.89	11.89	11.89	1.65	7.96	3.75	11.89	148.7	57.49
		1000	6	760	1.22	1.22	1.22	9.52	9.52	9.52	1.22	7.73	3.39	9.52	109.1	42.71
		1250	6	9.10	0.93	0.93	0.93	7.62	7.62	7.62	0.93	6.49	2.78	7.62	79	31.41
		1600	6	11.00	0.69	0.69	0.69	.96	5.96	5.96	0.69	4.43	1.94	5.96	58	23.31
		2000	6	13.30	0.53	0.53	0.53	4.77	4.77	4.77	0.53	2.91	1.32	4.77	46.3	18.61
		2500	6	15.80	0.40	0.40	0.40	3.82	3.82	3.82	0.40	2.18	0.99	3.82	3.97	14.78

注：因 SC(B)10 系列阻抗平均值与 SC(B)9 系列阻抗平均值相近，所以本表变压器阻抗平均值也可用于 SC(B)10 系列。

三、低压配电线路的阻抗

这里只对线路的零序阻抗和相保阻抗的计算方法作一补充。

1.线路零序阻抗的计算

各种型式的低压配电线路的零序阻抗 $Z_{(0)}$ 均可由下式计算

$$\begin{aligned}|\dot{Z}_{(0)}| &= |\dot{Z}_{(0)ph}+3\dot{Z}_{(0)p}| \\ &= \sqrt{[R_{(0)ph}+3R_{(0)p}]^2+[X_{(0)ph}+3X_{(0)p}]^2}\end{aligned} \tag{6-49}$$

式中 $Z_{(0)ph}$——相线的零序阻抗,$Z_{(0)ph}=\sqrt{R_{(0)ph}^2+X_{(0)ph}^2}$;

$Z_{(0)p}$——保护线的零序阻抗,$Z_{(0)p}=\sqrt{R_{(0)p}^2+X_{(0)p}^2}$;

$R_{(0)ph}$、$X_{(0)ph}$——相线的零序电阻和电抗;

$R_{(0)p}$、$X_{(0)p}$——保护线的零序电阻和电抗。

相线、保护线的零序电阻和零序电抗的计算方法与正、负序电阻和电抗的计算方法相同,但在计算相线零序电抗 $X_{(0)ph}$ 和保护线零序电抗 $X_{(0)p}$ 时,线路电抗计算公式中的几何均距 D_j 改用 D_0 代替,其计算公式如下

$$D_0 = \sqrt{D_{L1p}D_{L2p}D_{L3p}} \tag{6-50}$$

式中 D_{L1p}、D_{L2p}、D_{L3p}——相线 L1、L2、L3 中心至保护线 PE 或 PEN 线中心的距离(mm)。

2.线路相保阻抗的计算

单相接地短路电路中任一元件(配电变压器、线路等)的相保阻抗 $Z_{ph\cdot p}$ 计算公式为

$$\left.\begin{aligned}Z_{ph\cdot p} &= \sqrt{R_{php}^2+X_{php}^2} \\ R_{php} &= \frac{1}{3}[R_{(1)}+R_{(2)}+R_{(0)}] \\ &= \frac{1}{3}[R_{(1)}+R_{(2)}+R_{(0)ph}+3R_{(0)p}] = R_{ph}+R_p \\ X_{php} &= \frac{1}{3}[X_{(1)}+X_{(2)}+X_{(0)}] = \frac{1}{3}[X_{(1)}+X_{(2)}+X_{(0)ph}+3X_{(0)p}] \\ &= \frac{1}{3}[X_{(1)}+X_{(2)}+X_{(0)ph}]+X_{(0)p}\end{aligned}\right\} \tag{6-51}$$

式中 R_{php}——元件的相保电阻,$R_{php}=\frac{1}{3}[R_{(1)}+R_{(2)}+R_{(0)}]$;

X_{php}——元件的相保电抗,$X_{php}=\frac{1}{3}[X_{(1)}+X_{(2)}+X_{(0)}]$;

$R_{(1)}$、$X_{(1)}$——元件的正序电阻和正序电抗;

$R_{(2)}$、$X_{(2)}$——元件的负序电阻和负序电抗;

$R_{(0)}$、$X_{(0)}$——元件的零序电阻和零序电抗,$R_{(0)}=R_{(0)ph}+3R_{(0)p}$,$X_{(0)}=X_{(0)ph}+3X_{(0p)}$;

R_{ph}、$R_{(0)ph}$、$X_{(0)ph}$——元件相线的电阻、相线的零序电阻和相线的零序电抗;

R_p、$R_{(0)p}$、$X_{(0)p}$——元件保护线的电阻、保护线的零序电阻和保护线的零序电抗。

第六节 低压网络短路电流的计算

一、计算条件

高压系统短路电流的计算条件同样适用于低压网络短路电流的计算,但低压网络还有

如下一些特点：

(1)一般用电单位的电源来自地区大中型电力系统，配电用的电力变压器的容量远小于系统的容量，因此短路电流可按远离发电机端，即无限大电源容量的网络短路进行计算，短路电流周期分量不衰减。

(2)计入短路电路各元件的有效电阻，短路点的电弧电阻、导线连接点、开关设备和电器的接触电阻可忽略不计。

(3)当电路电阻较大，短路电流直流分量衰减较快时，一般可以不考虑直流分量。只有在离配电变压器低压侧很近处，如低压侧 20m 以内大截面线路上或低压配电屏内部发生短路时，才需要计算直流分量。

(4)单位线路长度有效电阻的计算温度不同，在计算三相最大短路电流时，导体计算温度取为 20℃；在计算单相短路电流时，假设的计算温度升高，电阻值增大，其值一般为 20℃时电阻的 1.5 倍。

(5)计算过程采用有名单位制，电压用 V、电流用 kA、容量用 kVA、阻抗用 mΩ。

(6)计算 220/380V 网络三相短路电流时，计算电压 cU_n 取电压系数 c 为 1.05，计算单相接地故障电流时，c 取 1.0，U_n 为系统标称电压(线电压)380V。

二、三相和两相(不接地)短路电流的计算

在 220/380V 网络中，一般以三相短路电流为最大。一台变压器供电的低压网络三相短路电流计算电路见图 6-7。

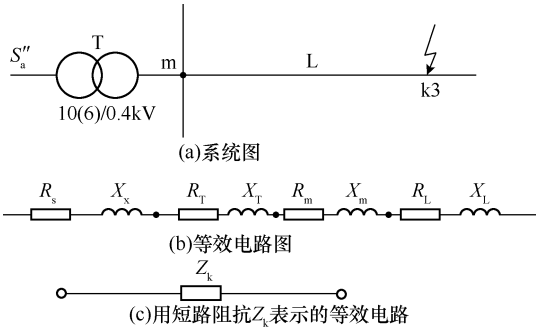


图 6-7　低压网络三相短路电流计算电路

低压网络三相起始短路电流交流分量有效值按下式计算

$$I''=\frac{cU_n/\sqrt{3}}{Z_k}=\frac{1.05U_n/\sqrt{3}}{\sqrt{R_k^2+X_k^2}}=\frac{230}{\sqrt{R_k^2+X_k^2}}(\text{kA}) \tag{6-52}$$

$$R_k=R_s+R_T+R_m+R_L$$

$$X_k=X_s+X_T+X_m+X_L$$

式中　U_n——网络标称电压(线电压)(V)，220/380V 网络为 380V；

c——电压系数，计算三相短路电流时取 1.05；

Z_k、R_k、X_k——短路电路总阻抗、总电阻、总电抗(mΩ)；

R_s、X_s——变压器高压侧系统的电阻、电抗(归算到 400V 侧)(mΩ)；

R_T、X_T——变压器的电阻、电抗(mΩ)；

R_m、X_m——变压器低压侧母线段的电阻、电抗(mΩ)；

R_L、X_L——配电线路的电阻、电抗(mΩ);

I''——三相短路电流的初始值。

只要 $\sqrt{R_T^2+X_T^2}/\sqrt{R_s^2+X_s^2}\geqslant 2$,变压器低压侧短路时的短路电流交流分量不衰减,即三相短路电流稳态值 $I_k=I''$。

三相短路电流峰值 i_p 的计算与高压系统相同,见式(6-25)。电动机反馈对短路电流峰值的影响,仅当短路点附近所接用电动机额定电流之和大于短路电流的 1%($\sum I_{r\cdot m}>0.01I_k''$)时,才考虑其影响。异步电动机启动电流倍数可取 6～7,异步电动机的短路电流峰值系数可取 1.3。由异步电动机馈送的短路电流峰值的计算见高压系统计算式(6-29)。

低压网络两相短路电流 I_{k2}'' 与三相短路电流 I_{k3}'' 的关系也和高压系统相同,即 $I_{k2}''=0.866I_{k3}''$。

两相短路稳态电流 I_{k2} 与三相短路稳态电流 I_{k3} 的比值也和高压系统相同。在远离发电机短路时,$I_{k2}=0.866I_{k3}$;在发电机出口处短路时,$I_{k2}=1.5I_{k3}$。

三、单相短路(包括单相接地故障)电流的计算

1.单相接地故障电流的计算

TN 接地系统的低压网络单相接地故障电流 I_{k1}'' 可由下式计算

$$I_{k1}''=\frac{cU_n/\sqrt{3}}{\frac{|\dot{Z}_{(1)}+\dot{Z}_{(2)}+\dot{Z}_{(0)}|}{3}}=\frac{1.0\times U_n/\sqrt{3}}{\sqrt{\left(\frac{R_{(1)}+R_{(2)}+R_{(0)}}{3}\right)^2+\left(\frac{X_{(1)}+X_{(2)}+X_{(0)}}{3}\right)^2}}$$

$$=\frac{U_n/\sqrt{3}}{\sqrt{R_{php}^2+X_{php}^2}}=\frac{220}{\sqrt{R_{php}^2+X_{php}^2}}=\frac{220}{Z_{php}}(\text{kA}) \tag{6-53}$$

$$\left.\begin{aligned}R_{php}&=\frac{R_{(1)}+R_{(2)}+R_{(0)}}{3}=R_{php\cdot s}+R_{php\cdot T}+R_{php\cdot m}+R_{php\cdot L}\\X_{php}&=\frac{X_{(1)}+X_{(2)}+X_{(0)}}{3}=X_{php\cdot s}+X_{php\cdot T}+X_{php\cdot m}+X_{php\cdot L}\\Z_{php}&=\sqrt{R_{php}^2+X_{php}^2}\end{aligned}\right\} \tag{6-54}$$

$$\begin{aligned}R_{(1)}&=R_{(1)\cdot s}+R_{(1)\cdot T}+R_{(1)\cdot m}+R_{(1)\cdot L}\\R_{(2)}&=R_{(2)\cdot s}+R_{(2)\cdot T}+R_{(2)\cdot m}+R_{(2)\cdot L}\\R_{(0)}&=R_{(0)\cdot s}+R_{(0)\cdot T}+R_{(0)\cdot m}+R_{(0)\cdot L}\\X_{(1)}&=X_{(1)\cdot s}+X_{(1)\cdot T}+X_{(1)\cdot m}+X_{(1)\cdot L}\\X_{(2)}&=X_{(2)\cdot s}+X_{(2)\cdot T}+X_{(2)\cdot m}+X_{(2)\cdot L}\\X_{(0)}&=X_{(0)\cdot s}+X_{(0)\cdot T}+X_{(0)\cdot m}+X_{(0)\cdot L}\end{aligned}$$

以上式中 U_n——220/380V 网络标称线电压,即 380V,$U_n/\sqrt{3}=380/\sqrt{3}$,取 220V;

c——电压系数,计算单相接地故障电流时取 1;

$R_{(1)}$、$R_{(2)}$、$R_{(3)}$——短路电路正序、负序、零序电阻(mΩ);

$X_{(1)}$、$X_{(2)}$、$X_{(3)}$——短路电路正序、负序、零序电抗(mΩ);

$Z_{(1)}$、$Z_{(2)}$、$Z_{(0)}$——短路电路正序、负序、零序阻抗(mΩ);

R_{php}、X_{php}、Z_{php}——短路电路的相线－保护线回路(以下简称相保,保护线包括 PE 线和 PEN 线)电阻、相保电抗、相保阻抗(mΩ)。

2.单相与中性线短路(即相线与中性线之间短路)电流初始值 I_{k1}'' 的计算

TN 和 TT 接地系统的低压网络相线与中性线之间短路的单相短路电流 I''_{k1} 的计算，与上述单相接地故障电流计算相似，仅将配电线路的相保电阻 $R_{php\cdot L}$、相保电抗 $X_{php\cdot L}$ 改用相线－中性线回路的电阻、电抗。

6.2 短路电流计算结果的应用

(1)电气接线方案的比较和选择。

(2)正确选择和校验电气设备。

(3)正确选择和校验载流导体。

(4)继电保护的选择、整定及灵敏系数校验。

(5)接地装置的设计及确定中性点接地方式。

(6)计算软导线的短路摇摆。

(7)确定分裂导线间隔棒的间距。架空线当传输容量较大时，导线采用分裂导线，为了避免由于电磁力作用、风力作用和冰雪作用，分裂导线缠绕发生摩擦和碰线，而保持一定的分裂间距并安装间隔棒。

(8)验算接地装置的接触电压和跨步电压。

(9)大、中型电动机的启动(启动压降计算)。短路电流计算应求出最大短路电流值，以确定电气设备容量或额定参数；整定继电保护装置。求出最小短路电流值，作为选择熔断器、校验继电保护装置灵敏系数的依据。此外，利用阻抗标幺值计算来校验电动机启动的电压降。

6.3 影响短路电流的因素和限制短路电流的措施

6.3.1 影响短路电流的因素

(1)系统的电压等级。

(2)主接线型式以及主接线的运行方式。

(3)系统的元件正负序阻抗及零序阻抗大小(变压器中性点接地点的多少)。

(4)是否加装限流电抗器(如限流电抗器、分裂电抗器或分裂绕组变压器，增加回路电抗值限制短路电流)。

(5)是否采用限流型电器(如限流熔断器、限流型低压断路器，能在短路电流达到冲击值之前完全熄灭电弧，起到限流作用)

6.3.2 限制短路电流的措施

《工业与民用配电设计手册》(第三版)

规范引用

1.电力系统可采取的限流措施

(1)提高电力系统的电压等级。

(2)直流输电。

(3)在电力系统主网加强联系后,将次级电网解环运行。

(4)在允许的范围内,增大系统的零序阻抗,例如,采用不带第三绕组或第三绕组为Y接线的全星形自耦变压器,减少变压器中性点的接地点等。

2.发电厂和变电所中可采取的限流措施

(1)发电厂中,在发电机电压母线分段回路中安装电抗器。

(2)变压器分列运行。

(3)变电所中,在变压器回路中装设分裂电抗器或电抗器。

(4)采用低压侧为分裂绕组的变压器。

(5)在出线上装设电抗器。

3.终端变电所中可采取的限流措施

(1)变压器分列运行。

(2)采用高阻抗变压器。

(3)在变压器回路中装设电抗器(增加回路的电抗值,限制短路电流)。

(4)采用小容量变压器。

7 110kV及以下电气设备选择

7.1 常用电气设备选择的技术条件和环境条件

7.1.1 选择电气设备的技术条件

7.1.1.1 工作条件

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(1)按工作电压选择高压电器及开关柜的要求。

选用的高压电器及开关柜,其额定电压应符合所在回路的系统标称电压,高压电器及开关柜的最高电压 U_{max} 应不小于所在回路的系统最高电压 U_y,即

$$U_{max} \geqslant U_y \quad (kV) \tag{7-1}$$

(2)按工作电流选择。

高压电器及导体的额定电流 I_r 不应小于该回路的最大持续工作电流 I_{max},即

$$I_r \geqslant I_{max} \quad (A) \tag{7-2}$$

由于高压开断电器没有连续过载的能力,在选择其额定电流时,应满足各种可能运行方式下回路持续工作电流的要求。

7.1.1.2 短路电流稳定

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

三、短路电流的热效应及电器导体的热稳定校验

1.短路电流在导体和电器中引起的热效应

按实用计算法,短路电流在导体和电器中引起的热效应为

$$Q_t \int_0^t i_{kt}^2 \mathrm{d}t = \int_0^t I_{kt}^2 \mathrm{d}t + \int_0^t i_{DC}^2 \mathrm{e}^{-kt/T_a} \mathrm{d}t = Q_z + Q_f \tag{7-3}$$

$$Q_z = \frac{I''^2 + 10I_{kt/2}^2 + I_{kt}^2}{12} t \tag{7-4}$$

$$Q_f = T_{eq} I''^2 \tag{7-5}$$

式中 Q_t——短路电流在导体和电器中引起的热效应($kA^2 \cdot s$);

Q_z——短路电流交流分量引起的热效应($kA^2 \cdot s$);

Q_f——短路电流直流分量引起的热效应($kA^2 \cdot s$);

i_{kt}——短路电流瞬时值(kA);

i_{DC}——短路电流直流分量(kA);

T_a——衰减时间常数;

t——短路电流持续时间(s);

I''^2——超瞬态短路电流有效值(kA);

$I_{kt/2}$——短路电流在 $t/2$ 时的交流分量有效值(kA);

I_{kt}——短路时间 t 时的短路电流交流分量有效值(kA);

T_{ep}——直流分量等效时间(s)。为简化计算,可由表 7-1 查得。

表 7-1 直流分量等效时间

短路点	T_{ep}/s	
	$t<0.1$	$t>0.1$
发电机出口及母线	0.15	0.2
发电机升压变压器高压侧及出线发电机电抗器后	0.08	0.1
发电所各级电压母线及出线	0.05	

2.短路电流持续时间

进行短路电流热效应校验时,短路电流持续时间可按下式计算

$$t = t_b + t_{fd} = t_b + t_{gu} + t_{bu} \tag{7-6}$$

式中 t——短路电流持续时间(s);

t_b——主保护装置动作时间(s);

t_{fd}——断路器开断时间(s);

t_{gu}——断路器固有分闸时间(s);

t_{hu}——断路器燃弧持续时间(s)。

主保护装置动作时间 t_b 应为该保护装置的启动机构、延时机构和执行机构动作时间的总和。

断路器的固有分闸时间 t_{gu} 可由产品样本查得。

当开断额定容量时,断路器燃弧持续时间 t_{hu} 可参考下列数值:真空断路器或 SF_6 断路器为 0.01～0.02s。

当主保护装置为速动时(无延时保护),短路电流持续时间 t 可取表 5-8(原规范中,下同)的数据。当继电保护有延时时,则按表中数据加上相应的整定时间。

3.按短路电流校验高压电器的热稳定

高压电器能耐受短路电流流过时间内的热效应而不致损坏,则认为该电气设备对短路电流是热稳定的,校验时应满足下式

$$Q_t \leqslant I_{th}^2 t_{th} \tag{7-7}$$

式中 Q_t——短路电流产生的热效应($kA^2 \cdot s$);

I_{th}——高压电器在 t_{th} 时间内允许通过的短时耐受电流有效值(kA);

t_{th}——高压电器热稳定允许通过的短时耐受电流的短时耐受时间(s)。

4. 按短路电流校验母线、电缆的热稳定

母线、电缆热稳定允许的最小截面按式(7-8)计算，并选用接近于计算值的母线、电缆。

$$S_{min}=\frac{\sqrt{Q_t}}{c}\times 10^3 \tag{7-8}$$

式中　S_{min}——母线、电缆所需的最小截面(mm^2)，；

Q_t——短路电流的热效应($kA^2\cdot s$)；

c——热稳定系数。

二、短路电流的电磁效应及导体的动稳定校验

1. 短路电流通过平行导体产生的电磁效应

当两根平行导体中分别有电流 i_1 和 i_2 通过时，导体间的相互作用力 F 为

$$F=0.2K_x i_1 i_2 \frac{l}{D}\quad (N) \tag{7-9}$$

式中　i_1、i_2——流过两根平行导体的电流瞬时值(kA)；

l——平行导体长度(m)；

D——导体中心距离(m)；

K_x——矩形截面导体的形状系数，可根据与导体厚度 b、宽度 h 和中心距离 D 有关的关系式$\frac{D-b}{h+b}$和$\frac{b}{h}$确定。

两相短路时导体间最大作用力 F_{k2} 为

$$F_{k2}=0.2K_x(i_{p2})^2\frac{l}{D}\quad (N) \tag{7-10}$$

式中　i_{p2}——两相短路峰值电流(两相短路冲击电流)(kA)；

其他符号含义同式(7-9)。

当三相短路电流通过在同一平面的三相导体时，中间相所处情况为最严重，其最大作用力 F_{k3} 为

$$F_{k3}=0.173K_x(i_{p3})^2\frac{l}{D}\quad (N) \tag{7-11}$$

式中　i_{p3}——三相短路峰值电流(三相短路冲击电流)(kA)；

其他符号含义同式(7-9)。

7.1.2　选择电气设备的环境条件

《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

规范引用

6.0.1 选择导体和电器时，应按当地环境条件校核。当气温、风速、湿度、污秽、海拔、地震、覆冰等环境条件超出一般电器的基本使用条件时，应通过技术经济比较分别采取下列措施：

1. 向制造部门提出补充要求，制订符合当地环境条件的产品；

2. 在设计或运行中采用相应的防护措施，如采用屋内配电装置、水冲洗、减震器等。

6.0.2　选择导体和电器的环境温度宜采用表 7-2 所列数值。

表 7-2 选择导体和电器的环境温度

类别	安装场所	环境温度/℃	
		最高	最低
裸导体	屋外	最热月平均最高温度	
	屋内	该处通风设计温度。当无资料时,可取最热月平均最高温度加 5℃	
电器	屋外	年最高温度	年最低温度
	屋内电抗器	该处通风设计最高排风温度	
	屋内其他	该处通风设计温度。当无资料时,可取最热月平均最高温度加 5℃	

注:①年最高(或最低)温度为一年中所得的最高(或最低)温度的多年平均值。

②最热月平均最高温度为最热月每日最高温度的月平均值,取多年平均值。

6.0.4 选择导体和电器时所用的最大风速,可取离地面 10m 高、30 年一遇的 10min 平均最大风速。最大设计风速超过 35m/s 的地区,可在屋外配电装置的布置中采取措施。阵风对屋外电器及电瓷产品的影响,应由制造部门在产品设计中考虑。

500kV 电器宜采用离地面 10m 高、50 年一遇 10min 平均最大风速。

6.0.5 在积雪、覆冰严重地区,应尽量采取防止冰雪引起事故的措施。隔离开关的破冰厚度,应大于安装场所最大覆冰厚度。

6.0.6 选择导体和电器的相对湿度,应采用当地湿度最高月份的平均相对湿度。对湿度较高的场所,应采用该处实际相对湿度。当无资料时,相对湿度可比当地湿度最高月份的平均相对湿度高 5%。

6.0.7 为保证空气污秽地区导体和电器的安全运行,在工程设计中应根据污秽情况选用下列措施:

1. 增大电瓷外绝缘的有效爬电比距,选用有利于防污的材料或电瓷造型,如采用硅橡胶、大小伞、大倾角、钟罩式等特制绝缘子。

2. 采用热缩增爬裙增大电瓷外绝缘的有效爬电比距。

3. 采用六氟化硫全封闭组合电器(GIS)或屋内配电装置。发电厂、变电站污秽分级标准见附录 C。

6.0.8 对安装在海拔高度超过 1000m 地区的电器外绝缘应予校验。当海拔高度在 4000m 以下时,其试验电压应乘以系数 K,系数 K 的计算公式如下:

$$K=\frac{1}{1.1-\frac{H}{10000}} \tag{7-12}$$

式中 H——安装地点海拔高度(m)。

6.0.9 对环境空气温度高于 40℃的设备,其外绝缘在干燥状态下的试验电压应取其额定耐受电压乘以温度校正系数 K_t。

$$K_t=1+0.0033(T-40) \tag{7-13}$$

式中 T——环境空气温度(℃)。

6.0.10 选择导体和电器时,应根据当地的地震烈度选用能够满足地震要求的产品。

对 8 度及以上的一般设备和 7 度及以上的重要设备应该核对其抗震能力,必要时进行

抗震强度验算。

在安装时，应考虑支架对地震力的放大作用。电器的辅助设备应具有与主设备相同的抗震能力。

6.0.11　电器及金具在 1.1 倍最高工作相电压下，晴天的夜晚不应出现可见电晕，110kV 及以上电压户外晴天无线电干扰电压不宜大于 500μV，并应由制造部门在产品设计中考虑。

6.0.12　电器噪声水平应满足环保标准要求。电器的连续噪声水平不应大于 85dB。断路器的非连续噪声水平，屋内不宜大于 90dB；屋外不应大于 110dB（测试位置距声源设备外沿垂直面的水平距离为 2m，离地高度 1～1.5m 处）。

7.1.3　环境保护

7.1.3.1　电磁干扰

频率大于 10 kHz 的无线电干扰主要来自电器的电流、电压突变和电晕放电。它会损害或破坏电磁信号的正常接收及电器、电子设备的正常运行。因此，电器及金具在最高工作相电压下，晴天的夜晚不应出现可见电晕。110kV 电器户外晴天无线电干扰电压不应大于 2500μV。

根据运行经验和现场实测结果，对于 110kV 以下的电器一般可不校验无线电干扰电压。

7.1.3.2　噪声

为了减小噪声对工作场所和附近居民区的影响，所选高压电器在运行中或操作时产生的噪声，在距电器 2m 处不应大于下列水平。

连续性噪声水平：85dB。

非连续性噪声水平：屋内 90dB，屋外 110dB。

7.2　高压变配电设备及电气元件的选择

7.2.1　变压器选择

7.2.1.1　技术条件

《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）

规范引用

8.0.1　电力变压器及其附属设备应按下列技术条件选择：

1. 型式；
2. 容量；
3. 绕组电压；
4. 相数；
5. 频率；
6. 冷却方式；
7. 连接组别；

8. 短路阻抗；
9. 绝缘水平；
10. 调压方式；
11. 调压范围；
12. 励磁涌流；
13. 并联运行特性；
14. 损耗；
15. 温升；
16. 过载能力；
17. 噪声水平；
18. 中性点接地方式；
19. 附属设备；
20. 特殊要求。

8.0.2 变压器及其附属设备还应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；
2. 日温差；
3. 最大风速；
4. 相对湿度；
5. 污秽；
6. 海拔高度；
7. 地震烈度；
8. 系统电压波形及谐波含量。

注：当在屋内使用时，可不检验2、3、5款；在屋外使用时，则不检验4款。

8.0.4 对于湿热带、工业污秽严重及沿海地区户外的产品，应考虑潮湿、污秽及盐雾的影响，变压器的外绝缘应选用加强绝缘型或防污秽型产品。热带产品气候类型分为湿热型(TH)、干热型(TA)、干湿热合型(T)三种。

8.0.5 变压器可根据安装位置条件，按用途、绝缘介质、绕组型式、相数、调压方式及冷却方式确定选用变压器的类型。在可能的条件下，优先选用三相变压器、自耦变压器、低损耗变压器、无激磁调压变压器。对大型变压器选型应进行技术经济论证。

8.0.6 选择变压器容量时，应根据变压器用途确定变压器负载特性，并参考相关标准中给定的正常周期负载图所推荐的变压器在正常寿命损失下的容量，同时还应考虑负荷发展，额定容量取值应尽可能选用标准容量系列。对大型变压器宜进行经济运行计算。

对三绕组变压器的高、中、低压绕组容量的分配，应考虑各侧绕组所带实际负荷，且绕组额定容量取值应尽可能选用标准系列。

8.0.7 电力变压器宜按《油浸式电力变压器技术参数和要求》(GB/T 6451—2008)、《干式电力变压器技术参数和要求》(GB/T 10228—2008)的参数优先选择。

8.0.8 除受运输、制造水平或其他特殊原因限制外，应尽可能选用三相电力变压器。

8.0.9 对于检修条件较困难和环境条件限制(低温、高潮湿、高海拔)地区的电力变压器，宜选用寿命期内免维护或少维护型。

8.0.10 短路阻抗选择。

1. 选择变压器短路阻抗时，应根据变压器所在系统条件尽可能选用相关标准规定的标准阻抗值。

2. 为限制过大的系统短路电流，应通过技术经济比较确定选用高阻抗变压器或限流电抗器，选择高阻抗变压器时应按电压分挡设置，并应校核系统电压调整率和无功补偿容量。

8.0.11　对于 500kV 电力变压器主绝缘（高－低或高－中）的尺寸、油流静电、线圈抗短路机械强度、耐运输冲撞的能力，应由产品设计部门给出详细数据。

8.0.12　分接头及调压方式的选择。

1. 分接头一般按以下原则设置：

1）在高压绕组或中压绕组上，而不是在低压绕组上；

2）尽量在星形连接绕组上，而不是在三角形连接的绕组上；

3）在网络电压变化最大的绕组上。

2. 调压方式选择原则：

1）无励磁调压变压器一般用于电压及频率波动范围较小的场所。

2）有载调压变压器一般用于电压波动范围大且电压变化频繁的场所。

3）在满足运行要求的前提下，能用无载调压的尽量不用有载调压。无励磁分接开关应尽量减少分接头数目，可根据系统电压变化范围只设最大、最小和额定分接。

4）自耦变压器采用公共绕组调压时，应验算第三绕组电压波动不超过允许值。在调压范围大、第三绕组电压不允许波动范围大时，推荐采用中压侧线端调压。

8.0.13　电力变压器套管电流互感器参数的选择要求详见电流互感器部分。

8.0.14　电力变压器油应满足《电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油》（GB 2536—2011）的要求，330kV 以上电压等级的变压器油应满足超高压变压器油标准。

8.0.15　在下述几种情况下一般可选用自耦变压器：

1. 单机容量在 125MW 及以下，且两级升高电压均为直接接地系统，其送电方向主要由低压送向高、中压侧，或从低压和中压送向高压侧，而无高压和低压同时向中压侧送电要求者，此时自耦变压器可做发电机升压之用。

2. 当单机容量在 200MW 及以上时，用来做高压和中压系统之间联络用的变压器。

3. 在 220kV 及以上的变电站中，宜优先选用自耦变压器。

8.0.16　容量为 200MW 及以上的机组，主厂房及网控楼内的低压厂用变压器宜采用干式变压器。其他受布置条件限制的场所也可采用干式变压器。

在地下变电站、市区变电站等防火要求高或布置条件受限制的地方宜采用干式变压器。

8.0.17　对于新型变压器经技术经济比较，确认技术先进合理可选用。

8.0.18　优先选用环保、节能的电力变压器消防方式（如充氮灭火等）。

8.0.19　城市变电站宜采用低噪声变压器。

7.2.1.2　20kV 及以下变电所变压器选择要求

规范引用　《20kV 及以下变电所设计规范》（GB 50053—2013）



3.3.1　当符合下列条件之一时，变电所宜装设两台及以上变压器：

1. 有大量一级负荷或二级负荷时；

2. 季节性负荷变化较大时；

3. 集中负荷较大时。

3.3.2 装有两台及以上变压器的变电所,当任意一台变压器断开时,其余变压器的容量应能满足全部一级负荷及二级负荷的用电。

3.3.3 变电所中低压为0.4kV的单台变压器的容量不宜大于1250kVA,当用电设备容量较大、负荷集中且运行合理时,可选用较大容量的变压器。

3.3.4 动力和照明宜共用变压器。当属于下列情况之一时,应设专用变压器:

1. 当照明负荷较大或动力和照明采用共用变压器严重影响照明质量及光源寿命时,应设照明专用变压器;

2. 单台单相负荷较大时,应设单相变压器;

3. 冲击性负荷较大,严重影响电能质量时,应设冲击负荷专用变压器;

4. 采用不配出中性线的交流三相中性点不接地系统(IT系统)时,应设照明专用变压器;

5. 采用660(690)V交流三相配电系统时,应设照明专用变压器。

3.3.5 高层主体建筑内变电所应选用不燃或难燃型变压器;多层建筑物内变电所和防火、防爆要求高的车间内变电所,宜选用不燃或难燃型变压器。

3.3.6 在多尘或有腐蚀性气体严重影响变压器安全运行的场所,应选用全封闭型或防腐型的变压器,也可采取防尘或防腐措施。

3.3.7 在低压电网中,配电变压器宜选用Dyn11接线组别的三相变压器。

7.2.1.3 35～110kV变电所主变压器选择要求

《35～110kV变电所设计规范》(GB 50059—2011)

规范引用

3.1.1 主变压器的台数和容量,应根据地区供电条件、负荷性质、用电容量和运行方式等条件综合确定。

3.1.2 在有一、二级负荷的变电站中应装设两台主变压器,当技术经济比较合理时,可装设两台以上主变压器。变电站可由中、低压侧电网取得足够容量的工作电源时,可装设一台主变压器。

3.1.3 装有两台及以上主变压器的变电站,当断开一台主变压器时,其余主变压器的容量(包括过负荷能力)应满足全部一、二级负荷用电的要求。

3.1.4 具有三种电压的变电站中,通过主变压器各侧绕组的功率达到该变压器额定容量的15%以上时,主变压器宜采用三绕组变压器。

3.1.5 主变压器宜选用低损耗、低噪声变压器。

3.1.6 电力潮流变化大和电压偏移大的变电站,经计算普通变压器不能满足电力系统和用户对电压质量的要求时,应采用有载调压变压器。

7.2.2 开关电器选择

7.2.2.1 高压开关设备

《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

规范引用

9.1 基本规定

9.1.1　开关设备及其操动机构应按下列技术条件选择：

1. 电压；
2. 电流；
3. 极数；
4. 频率；
5. 绝缘水平；
6. 开断电流；
7. 短路关合电流；
8. 失步开断电流；
9. 动稳定电流；
10. 热稳定电流；
11. 特殊开断性能；
12. 操作顺序；
13. 端子机械载荷；
14. 机械和电气寿命；
15. 分、合闸时间；
16. 过电压；
17. 操动机构型式，操作气压、操作电压，相数；
18. 噪声水平。

9.1.2　开关设备还应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；
2. 日温差；
3. 最大风速；
4. 相对湿度；
5. 污秽等级；
6. 海拔高度；
7. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验2、3、5款；在屋外使用时，则不校验4款。

9.2　高压断路器

9.2.1　断路器的额定电压应不低于系统的最高电压；额定电流应大于运行中可能出现的任何负荷电流。

9.2.2　在校核断路器的断流能力时，宜取断路器实际开断时间（主保护动作时间与断路器分闸时间之和）的短路电流作为校验条件。

9.2.3　在中性点直接接地或经小阻抗接地的系统中选择断路器时，首相开断系数应取1.3；在110kV及以下的中性点非直接接地的系统中，则首相开断系数应取1.5。

9.2.4　断路器的额定短时耐受电流等于额定短路开断电流，其持续时间额定值在110kV及以下为4s；在220kV及以上为2s。

对于装有直接过电流脱扣器的断路器不一定规定短路持续时间，如果断路器接到预期开断电流等于其额定短路开断电流的回路中，则当断路器的过电流脱扣器整定到最大时延时，该断路器应能按照额定操作顺序操作，且在与该延时相应的开断时间内，承载通过的

电流。

9.2.5 当断路器安装地点的短路电流直流分量不超过断路器额定短路开断电流幅值的20%时,额定短路开断电流仅由交流分量来表征,不必校验断路器的直流分断能力。如果短路电流直流分量超过20%时,应与制造厂协商,并在技术协议书中明确所要求的直流分量百分数。

9.2.6 断路器的额定关合电流,不应小于短路电流最大冲击值(第一个大半波电流峰值)。

9.2.7 对于110kV以上的系统,当电力系统稳定要求快速切除故障时,应选用分闸时间不大于0.04s的断路器;当采用单相重合闸或综合重合闸时,应选用能分相操作的断路器。

9.2.8 对于330kV及以上系统,在选择断路器时,其操作过电压倍数应满足《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)的要求。

9.2.9 对担负调峰任务的水电厂、蓄能机组、并联电容器组等需要频繁操作的回路,应选用适合频繁操作的断路器。

9.2.10 用于为提高系统动稳定装设的电气制动回路中的断路器,其合闸时间不宜大于0.04～0.06s。

9.2.11 用于切合并联补偿电容器组的断路器,应校验操作时的过电压倍数,并采取相应的限制过电压措施。3～10kV宜用真空断路器或SF_6断路器。容量较小的电容器组,也可使用开断性能优良的少油断路器。35kV及以上电压级的电容器组,宜选用SF_6断路器或真空断路器。

9.2.12 用于串联电容补偿装置的断路器,其断口电压与补偿装置的容量有关,而对地绝缘则取决于线路的额定电压,220kV及以上电压等级应根据所需断口数量特殊订货;110kV及以下电压等级可选用同一电压等级的断路器。

9.2.13 当断路器的两端为互不联系的电源时,设计中应按以下要求校验:

1. 断路器断口间的绝缘水平满足另一侧出现工频反相电压的要求;

2. 在失步下操作时的开断电流不超过断路器的额定反相开断性能;

3. 断路器同极断口间的公称爬电比距与对地公称爬电比距之比一般取为1.15～1.3。

4. 当断路器起联络作用时,其断口的公称爬电比距与对地公称爬电比距之比应选取较大的数值,一般不低于1.2。

当缺乏上述技术参数时,应要求制造部门进行补充试验。

9.2.14 断路器还应根据其使用条件校验下列开断性能:

1. 近区故障条件下的开合性能;

2. 异相接地条件下的开合性能;

3. 失步条件下的开合性能;

4. 小电感电流开合性能;

5. 容性电流开合性能;

6. 二次侧短路开断性能。

9.2.15 选择断路器接线端子的机械荷载,应满足正常运行和短路情况下的要求。一般情况下断路器接线端子的机械荷载不应大于表7-3所列数值。

表 7-3

额定电压/kV	额定电流/A	水平拉力		垂直力(向上及向下)N
		纵向	横向	
12		500	250	300
40.5～72.5	≤1250	500	400	500
	≥1600	750	500	750
126	≤2000	1000	750	750
	≥2500	1250	750	1000
252～363	1250～3150	150	1000	1250
550		2000	1500	1500

注：当机械荷载计算值大于表 7-3 所列数值时，应与制造厂商定。

9.2.16　当系统单相短路电流计算值在一定条件下有可能大于三相短路电流值时，所选择断路器的额定开断电流值应不小于所计算的单相短路电流值。

9.3　发电机断路器

9.3.1　发电机断路器灭弧及绝缘介质可以选用 SF_6、压缩空气或真空，也可以选用少油式。

9.3.2　为减轻因发电机断路器三相不同期合、分而产生负序电流对发电机的影响，发电机断路器宜选用机械三相联动操动机构。

9.3.3　发电机断路器三相不同期合闸时间应不大于 10ms，不同期分闸时间应不大于 5ms。

9.3.4　发电机断路器可以根据工程具体情况选用卧式或立式布置：安装位置不应存在有害烟雾、水蒸气、盐雾及细菌生长；为减轻发电机断路器异常热应力对断路器套管、基础及母线的影响，宜在断路器与母线连接处增加软连接装置。

9.3.5　在不同的环境和负荷条件下，发电机断路器应能承载发电机最大连续容量时的持续电流，且各部位温度极限不超过规定值。对装有强制冷却装置断路器的，当断路器强制冷却系统故障时必须考虑发电机减出力，并校核负荷电流降低速率、允许电流值和允许时间。

9.3.6　在校核发电机断路器开断能力时，应分别校核系统源和发电源在主弧触头分离时对称短路电流值、非对称短路电流值及非对称短路电流的直流分量值；在校核系统源对称短路电流时应考虑厂用高压电动机的影响。

对发电机断路器而言，系统直流分量衰减时间常数 τ 可能大于 60ms，因此选择发电机出口断路器时必须校验断路器的直流分断能力。

9.3.7　发电机断路器应具有失步开断能力，其额定失步开断电流应为额定短路开断电流的 25%或 50%；应校核各种失步状态下的电流值，必要时应采取适当的措施(如装设电流闭锁装置)以保证发电机断路器开断时的电流不超过额定失步开断电流；全反相条件下的开断可以不作为发电机断路器的失步开断校核条件。

9.3.8　发电机断路器开断短路电流、负荷电流及失步电流时，暂态恢复电压应满足相应标准规定，首相开断系数和幅值系数可取 1.5。

9.3.9　如发电机断路器在某些情况下兼起隔离开关的作用，应设置观察窗，以便监视

断口的状态。

大容量发电机断路器应具有内部空气温度的监测装置,以及反映断路器分、合闸位置是否正常的监测装置。

7.2.2.2 负荷开关

规范引用 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)



10.1 基本规定

10.1.1 负荷开关及其操作机构应按下列技术条件选择:

1. 电压;
2. 电流;
3. 频率;
4. 绝缘水平;
5. 动稳定电流;
6. 热稳定电流;
7. 开断电流;
8. 关合电流;
9. 机械荷载;
10. 操作次数;
11. 过电压;
12. 操动机构型式,操作电压,相数;
13. 噪声水平。

10.1.2 负荷开关还应按下列使用环境条件校验:

1. 环境温度;
2. 最大风速;
3. 相对湿度;
4. 覆冰厚度;
5. 污秽;
6. 海拔高度;
7. 地震烈度。

注:当在屋内使用时,可不校验2、4、5款;在屋外使用时,则不校验3款。

10.2 高压负荷开关

10.2.1 当负荷开关与熔断器组合使用时,负荷开关应能关合组合电器中可能配用熔断器的最大截止电流。

10.2.2 当负荷开关与熔断器组合使用时,负荷开关的开断电流应大于转移电流和交接电流。

10.2.3 负荷开关的有功负荷开断能力和闭环电流开断能力应不小于回路的额定电流。

10.2.4 选用的负荷开关应具有切合电感、电容性小电流的能力。应能开断不超过10A(3～35kV)、25A(63kV)的电缆电容电流或限定长度的架空线充电电流,以及开断

1250kVA(3～35kV)、5600kVA(63kV)配电变压器的空载电流。

10.2.5 当开断电流超过10.2.4条的限额或开断其电容电流为额定电流80%以上的电容器组时，应与制造部门协商，选用专用的负荷开关。

10.3 重合器

10.3.1 重合器灭弧及绝缘介质可以选用油、真空和SF_6。

10.3.2 重合器应具有明显的电源侧或负荷侧标志，保护用电流互感器装在重合器电源侧，测量用电流互感器装在重合器负荷侧。

10.3.3 重合器应能开断与额定短路开断电流对应的非对称短路电流。

10.3.4 重合器的额定短路关合电流和额定动稳定电流峰值均为其额定短路开断电流的2.5倍。

10.3.5 重合器首相开断系数应取1.5。

10.3.6 重合器的额定操作顺序中含有四个单元操作，即：

分—t—合分—t—合分—t—合分—闭锁

其中每一单元操作应有快慢两种A－s曲线以供选择。t为产品技术条件规定的最短重合间隔。

10.3.7 额定短路持续时间分2s和4s两挡。对装有串联分闸线圈的重合器，不规定短路持续时间，但当重合器按照其额定操作顺序操作而分闸整定在最慢速时，在开断时间内，重合器应能连续4次通过额定短路开断电流。

10.4 分段器

10.4.1 分段器的额定关合电流不宜小于短路电流最大冲击值。

10.4.2 分段器的计数次数为3次，并根据需要可调节为1或2次。跌落式分段器计数次数为2次。

10.4.3 分段器没有标准的过负荷电流能力，但制造厂应提供分段器允许的过负荷范围及其运行特性。

10.5 真空接触器

10.5.1 真空接触器应按下列技术条件选择：

1. 额定电压；
2. 额定电流；
3. 额定开断电流；
4. 额定关合电流；
5. 额定动稳定电流；
6. 额定热稳定电流；
7. 额定热稳定时间；
8. 半波允许通过电流；
9. 极限开断电流；
10. 绝缘水平；
11. 机械寿命；
12. 真空接触器合闸电流；
13. 真空接触器分闸电流；
14. 电气寿命。

10.5.2 真空接触器还应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；

2. 相对湿度；

3. 海拔高度；

4. 地震烈度。

10.5.3 真空接触器应具有很高的可靠性，能频繁操作，在使用中不应出现误分、误合或拒分、拒合。

10.5.4 真空接触器应具有可靠的机械锁扣装置。

10.5.5 真空接触器应具有动作计数和分合位置指示功能。

7.2.2.3 高压隔离开关

规范引用 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

11.0.1 隔离开关及其操作机构应按下列技术条件选择：

1. 电压；

2. 电流；

3. 频率；

4. 绝缘水平；

5. 动稳定电流；

6. 热稳定电流；

7. 分合小电流、旁路电流和母线环流；

8. 接线端机械荷载；

9. 单柱式隔离开关的接触区；

10. 分、合闸装置及电磁闭锁装置操作电压；

11. 操动机构型式，气动机构的操作气压。

11.0.2 隔离开关还应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；

2. 最大风速；

3. 覆冰厚度；

4. 相对湿度；

5. 污秽；

6. 海拔高度；

7. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验2、3、5款；在屋外使用时，则不校验4款。

11.0.3 对隔离开关的型式选择应根据配电装置的布置特点和使用要求等因素，进行综合技术经济比较后确定。

11.0.4 隔离开关应根据负荷条件和故障条件所要求的各个额定值来选择，并应留有适当裕度，以满足电力系统未来发展的要求。

11.0.5 隔离开关没有规定承受持续过电流的能力，当回路中有可能出现经常性断续过电流的情况时，应与制造厂协商。

11.0.6　当安装的63kV及以下隔离开关的相间距离小于产品规定的最小相间距离时，应要求制造厂根据使用条件进行动、热稳定性试验。原则上应进行三相试验，当试验条件不具备时，允许进行单相试验。

11.0.7　单柱垂直开启式隔离开关在分闸状态下，动静触头间的最小电气距离不应小于配电装置的最小安全净距B值。

11.0.8　为保证检修安全，63kV及以上断路器两侧的隔离开关和线路隔离开关的线路侧宜配置接地开关。

隔离开关的接地开关，应根据其安装处的短路电流进行动、热稳定校验。

11.0.9　选用的隔离开关应具有切合电感、电容性小电流的能力，应使电压互感器、避雷器、空载母线、励磁电流不超过2A的空载变压器及电容电流不超过5A的空载线路等，在正常情况下操作时能可靠切断，并符合有关电力工业技术管理的规定。当隔离开关的技术性能不能满足上述要求时，应向制造部门提出，否则不得进行相应的操作。

隔离开关还应能可靠切断断路器的旁路电流及母线环流。

11.0.10　屋外隔离开关接线端的机械荷载不应大于表7-4所列数值。机械荷载应考虑母线（或引下线）的自重、张力、风力和冰雪等施加于接线端的最大水平静拉力。当引下线采用软导线时，接线端机械荷载中不需再计入短路电流产生的电动力。但对采用硬导体或扩径空心导线的设备间连线，则应考虑短路电动力。

表7-4　屋外隔离开关接线端允许的机械荷载

额定电压/kV		定额电流/A	水平拉力		垂直力（向上、下）/N
			纵向	横向	
12			500	250	300
40.5～72.5		≤1250	750	400	500
		≥1600	750	500	750
126		≤2000	1000	750	750
		≥3150	1250	750	1000
252～363	单柱式	1250～3150	2000	1500	1000
	多柱式	1250～3150	1500	1000	1000
550	单柱式	2500～4000	3000	2000	1500
	多柱式	2500～4000	2000	1500	1500

注：①如果机械荷载计算值超过本表规定值时，应和制造厂协商另定。

②安全系数为：静态不小于3.5，动态不小于1.7。

11.0.11　隔离开关操作机构的型式宜根据工程实际情况选择电动或手动操作机构。

7.2.2.4　高压熔断器

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》（DL/T 5222—2005）

17.0.1　高压熔断器应按下列技术条件选择：

1. 电压；

2. 电流；

3. 开断电流；

4. 保护熔断特性。

17.0.2 高压熔断器还应按下列使用环境条件校验:

1. 环境温度;

2. 最大风速;

3. 污秽;

4. 海拔高度;

5. 地震烈度。

注:当在屋内使用时,可不校验2、3款。

17.0.3 高压熔断器的额定开断电流应大于回路中可能出现的最大预期短路电流周期分量有效值。

17.0.4 限流式高压熔断器不宜使用在工作电压低于其额定电压的电网中,以免因过电压而使电网中的电器损坏。

17.0.5 高压熔断器熔管的额定电流应大于或等于熔体的额定电流。熔体的额定电流应按高压熔断器的保护熔断特性选择。

17.0.6 选择熔体时,应保证前后两极熔断器之间、熔断器与电源侧继电保护之间,以及熔断器与负荷侧继电保护之间动作的选择性。

17.0.7 高压熔断器熔体在满足可靠性和下一段保护选择性的前提下,当在本段保护范围内发生短路时,应能在最短的时间内切断故障,以防止熔断时间过长而加剧被保护电器的损坏。

17.0.8 保护电压互感器的熔断器,只需按额定电压和开断电流选择。

17.0.9 发电机出口电压互感器高压侧熔断器的额定电流应与发电机定子接地保护相配合,以免电压互感器二次侧故障引起发电机定子接地保护误动作。

17.0.10 变压器回路熔断器的选择应符合下列规定:

1. 熔断器应能承受变压器的容许过负荷电流及低压侧电动机成组启动所产生的过电流;

2. 变压器突然投入时的励磁涌流不应损伤熔断器,变压器的励磁涌流通过熔断器产生的热效应可按(10～20)倍的变压器满载电流持续0.1s计算,当需要时可按(20～25)倍的变压器满载电流持续0.01s校验。

3. 熔断器对变压器低压侧的短路故障进行保护,熔断器的最小开断电流应低于预期短路电流。

17.0.11 电动机回路熔断器的选择应符合下列规定:

1. 熔断器应能安全通过电动机的容许过负荷电流;

2. 电动机的启动电流不应损伤熔断器;

3. 电动机在频繁地投入、开断或反转时,其反复变化的电流不应损伤熔断器。

17.0.12 保护电力电容器的高压熔断器选择,应符合《并联电容器装置设计规范》(GB 50227—2008)的规定。

17.0.13 跌落式高压熔断器的断流容量应分别按上、下限值校验,开断电流应以短路全电流校验。

17.0.14 除保护防雷用电容器的熔断器外,当高压熔断器的断流容量不能满足被保护回路短路容量要求时,可采用在被保护回路中装设限流电阻等措施来限制短路电流。

7.2.3　互感器选择

7.2.3.1　电流互感器

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)



15.0.1　电流互感器应按下列技术条件选择和校验：

1. 一次回路电压；
2. 一次回路电流；
3. 二次负荷；
4. 二次回路电流；
5. 准确度等级和暂态特性；
6. 继电保护及测量的要求；
7. 动稳定倍数；
8. 热稳定倍数；
9. 机械荷载；
10. 温升。

15.0.2　电流互感器还应按下列使用环境校验：

1. 环境温度；
2. 最大风速；
3. 相对湿度；
4. 污秽；
5. 海拔高度；
6. 地震烈度；
7. 系统接地方式。

注：当在屋内使用时，可不校验 2、4 款；当在屋外使用时，可不校验 3 款。

15.0.3　电流互感器的型式按下列使用条件选择：

1.3～35kV 屋内配电装置的电流互感器，根据安装使用条件及产品情况，宜选用树脂浇注绝缘结构。

2.35kV 及以上配电装置的电流互感器，宜采用油浸瓷箱式、树脂浇注式、SF_6 气体绝缘结构或光纤式的独立式电流互感器。在有条件时，应采用套管式电流互感器。

15.0.4　保护用电流互感器选择

1.330kV、500kV 系统及大型发电厂的保护用电流互感器应考虑短路暂态的影响，宜选用具有暂态特性的 TP 类互感器，某些保护装置本身具有克服电流互感器暂态饱和影响的能力，则可按保护装置具体要求选择适当的 P 类电流互感器。

2. 对 220kV 及以下系统的电流互感器一般可不考虑暂态影响，可采用 P 类电流互感器。对某些重要回路可适当提高所选互感器的准确限值系数或饱和电压，以减缓暂态影响。

15.0.5　测量用电流互感器选择

选择测量用电流互感器应根据电力系统测量和计量系统的实际需要合理选择互感器的类型。要求在较大工作电流范围内作准确测量时可选用 S 类电流互感器。为保证二次电流

在合适的范围内,可采用复变比或二次绕组带抽头的电流互感器。

电能计量用仪表与一般测量仪表在满足准确级条件下,可共用一个二次绕组。

15.0.6 电力变压器中性点电流互感器的一次额定电流,应大于变压器允许的不平衡电流,一般可按变压器额定电流的30%选择。安装在放电间隙回路中的电流互感器,一次额定电流可按100A选择。

15.0.7 供自耦变压器零序差动保护用的电流互感器,其各侧变比均应一致,一般按中压侧的额定电流选择。

15.0.8 在自耦变压器公共绕组上作过负荷保护和测量用的电流互感器,应按公共绕组的允许负荷电流选择。

15.0.9 中性点的零序电流互感器应按下列条件选择和校验:

1. 对中性点非直接接地系统,由二次电流及保护灵敏度确定一次回路启动电流;对中性点直接接地或经电阻接地系统,由接地电流和电流互感器准确限值系数确定电流互感器额定一次电流,由二次负载和电流互感器的容量确定二次额定电流;

2. 按电缆根数及外径选择电缆式零序电流互感器窗口直径;

3. 按一次额定电流选择母线式零序电流互感器母线截面。

15.0.10 选择母线式电流互感器时,还应校核窗口允许穿过的母线尺寸。

15.0.11 发电机横联差动保护用电流互感器的一次电流应按下列情况选择:

1. 安装于各绕组出口处时,宜按定子绕组每个支路的电流选择;

2. 安装于中性点连接线上时,按发电机允许的最大不平衡电流选择,一般可取发电机额定电流的20%～30%。

15.0.12 火力发电厂和变电站的电流互感器选择应符合《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2012)的要求。

7.2.3.2 电压互感器

规范引用 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)



16.0.1 电压互感器应按下列技术条件选择和校验:

1. 一次回路电压;
2. 二次电压;
3. 二次负荷;
4. 准确度等级;
5. 继电保护及测量的要求;
6. 兼用于载波通信时电容式电压互感器的高频特性;
7. 绝缘水平;
8. 温升;
9. 电压因数;
10. 系统接地方式;
11. 机械荷载。

16.0.2 电压互感器还应按下列使用环境条件校验:

1. 环境温度;

2. 最大风速；

3. 相对湿度；

4. 污秽；

5. 海拔高度；

6. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验 2、4 款；当在屋外使用时，可不校验 3 款。

16.0.3　电压互感器的型式按下列使用条件选择：

1. 3～35kV 屋内配电装置，宜采用树脂浇注绝缘结构的电磁式电压互感器。

2. 35kV 屋外配电装置，宜采用油浸绝缘结构的电磁式电压互感器。

3. 110kV 及以上配电装置，当容量和准确度等级满足要求时，宜采用电容式电压互感器。

4. SF_6 全封闭组合电器的电压互感器宜采用电磁式。

16.0.4　在满足二次电压和负荷要求的条件下，电压互感器宜采用简单接线，当需要零序电压时，3～20kV 宜采用三相五柱电压互感器或三个单相式电压互感器。

当发电机采用附加直流的定子绕组 100％接地保护装置，而利用电压互感器向定子绕组注入直流时，所用接于发电机电压的电压互感器一次侧中性点都不得直接接地，当要求接地时，必须经过电容器接地以隔离直流。

16.0.5　在中性点非直接接地系统中的电压互感器，为了防止铁磁谐振过电压，应采取消谐措施，并应选用全绝缘。

16.0.6　当电容式电压互感器由于开口三角绕组的不平衡电压较高，而影响零序保护装置的灵敏度时，应要求制造部门装设高次谐波滤过器。

16.0.7　用于中性点直接接地系统的电压互感器，其剩余绕组额定电压应为 100V；用于中性点非直接接地系统的电压互感器，其剩余绕组额定电压应为 100/3V。

16.0.8　电磁式电压互感器可以兼作并联电容器的泄能设备，但此电压互感器与电容器组之间不应有开断点。

16.0.9　火电厂和变电站的电压互感器选择还应符合《火力发电厂、变电站二次接线设计技术规程》(DL/T 5136—2012)的要求。

7.2.4　电抗器

7.2.4.1　基本规定

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)



14.1.1　电抗器应按下列技术条件选择：

1. 电压；

2. 电流；

3. 频率；

4. 电抗百分数；

5. 电抗器额定容量；

6. 动稳定电流；

7. 热稳定电流；

8. 安装方式；

9. 进出线型式；

10. 绝缘水平；

11. 噪声水平。

14.1.2 电抗器还应按下列使用环境校验：

1. 环境温度；

2. 相对湿度；

3. 海拔高度；

4. 地震烈度。

7.2.4.2 限流电抗器

《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

14.2.1 普通限流电抗器的额定电流应按下列条件选择：

1. 主变压器或馈线回路的最大可能工作电流。

2. 发电厂母线分段回路的限流电抗器，应根据母线上事故切断最大一台发电机时，可能通过电抗器的电流选择，一般取该台发电机额定电流的50%～80%。

3. 变电站母线回路的限流电抗器应满足用户的一级负荷和大部分二级负荷的要求。

14.2.2 分裂限流电抗器的额定电流按下列条件选择：

1. 当用于发电厂的发电机或主变压器回路时，一般按发电机或主变压器额定电流的70%选择。

2. 当用于变电站主变压器回路时，应按负荷电流大的一臂中通过的最大负荷电流选择。当无负荷资料时，可按主变压器额定电流的70%选择。

14.2.3 普通电抗器的电抗百分值应按下列条件选择和校验：

1. 将短路电流限制到要求值。

2. 正常工作时，电抗器的电压损失不得大于母线额定电压的5%，对于出线电抗器，还应计及出线上的电压损失。

3. 当出线电抗器未装设无时限继电保护装置时，应按电抗器后发生短路，母线剩余电压不低于额定值的60%～70%校验。若此电抗器接在6kV发电机主母线上，则母线剩余电压应尽量取上限值。

对于母线分段电抗器、带几回出线的电抗器及其他具有无时限继电保护的出线电抗器，不必校验短路时的母线剩余电压。

14.2.4 分裂电抗器的自感电抗百分值，应按将短路电流限制到要求值选择，并按正常工作时分裂电抗器两臂母线电压波动不大于母线额定电压的5%校验。

14.2.5 分裂电抗器的互感系数，当无制造部门资料时，一般取0.5。

14.2.6 对于分裂电抗器在正常工作时两臂母线电压的波动计算，若无两臂母线实际负荷资料，则可取一臂为分裂电抗器额定电流的30%，另一臂为分裂电抗器额定电流的70%。

14.2.7 分裂电抗器应分别按单臂流过短路电流和两臂同时流过反向短路电流两种情

况进行动稳定校验。

7.2.4.3　并联电抗器

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

14.3.1　高压并联电抗器除14.1节规定外,还应按下列技术条件选择:

1. 最高工作电压;
2. 连接方式;
3. 励磁特性;
4. 谐波电流幅值;
5. 感抗偏差;
6. 油箱振动的最大双振幅值;
7. 中性点电抗器;
8. 中性点的绝缘水平;
9. 各侧套管式电流互感器。

14.3.2　低压并联电抗器中性点应为线端全绝缘水平。

14.3.3　三相高压并联电抗器应采用三相五柱式。

14.3.4　对于可按系统运行情况投切的并联电抗器应选用自动投切方式。

7.2.4.4　并联电抗器中性点小电抗器

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

14.4.1　中性点小电抗应根据电力系统的情况按加速潜供电弧熄灭或抑制谐振过电压的要求选择小电抗值。

14.4.2　中性点小电抗的额定电流按下列条件选择:

1. 潜供电流不应大于20A;
2. 输电线路三相不平衡引起的零序电流,一般取线路最大工作电流的0.2%;
3. 并联电抗器三相电抗不平衡引起的中性点电流,一般取并联电抗器额定电流的5%～8%。

14.4.3　按故障状况校验小电抗的温升,故障电流可取200～300A,时间可取10s。

14.4.4　中性点小电抗的绝缘水平主要取决于出现在中性点上的最大过电压,应根据实际计算的最大过电压确定小电抗的绝缘水平。

7.2.5　中性点接地设备

7.2.5.1　消弧线圈

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

18.1.1　消弧线圈应按下列技术条件选择:

1. 电压;
2. 频率;

3. 容量；

4. 补偿度；

5. 电流分接头；

6. 中性点位移电压。

18.1.2 消弧线圈还应按下列环境条件校验：

1. 环境温度；

2. 日温差；

3. 相对湿度；

4. 污秽；

5. 海拔高度；

6. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验2、4款；在屋外使用时，则不校验3款。

18.1.3 消弧线圈宜选用油浸式。装设在屋内相对湿度小于80%场所的消弧线圈，也可选用干式。在电容电流变化较大的场所，宜选用自动跟踪动态补偿式消弧线圈。

18.1.4 消弧线圈的补偿容量，可按下式计算：

$$Q=KI_C\frac{U_N}{\sqrt{3}} \tag{7-14}$$

式中 Q——补偿容量(kVA)；

K——系数，过补偿取1.35，欠补偿按脱谐度确定；

I_C——电网或发电机回路的电容电流(A)；

U_N——电网或发电机回路的额定线电压(kV)。

为便于运行调谐，宜选用容量接近于计算值的消弧线圈。

18.1.5 电网的电容电流，应包括有电气连接的所有架空线路、电缆线路的电容电流，并计及厂、所母线和电器的影响。该电容电流应取最大运行方式下的电流。

发电机电压回路的电容电流，应包括发电机、变压器和连接导体的电容电流，当回路装有直配线或电容器时，还应计及这部分电容电流。

计算电网的电容电流时，应考虑电网5～10年的发展。

18.1.6 装在电网的变压器中性点的消弧线圈，以及具有直配线的发电机中性点的消弧线圈应采用过补偿方式。

对于采用单元连接的发电机中性点的消弧线圈，为了限制电容耦合传递过电压以及频率变动等对发电机中性点位移电压的影响，宜采用欠补偿方式。

18.1.7 中性点经消弧线圈接地的电网，在正常情况下，长时间中性点位移电压不应超过额定相电压的15%，脱谐度一般不大于10%(绝对值)，消弧线圈分接头宜选用5个。

中性点经消弧线圈接地的发电机，在正常情况下，长时间中性点位移电压不应超过额定相电压的10%，考虑到限制传递过电压等因素，脱谐度不宜超过±30%，消弧线圈的分接头应满足脱谐度的要求。

中性点位移电压可按下式计算：

$$U_0=\frac{U_{bd}}{\sqrt{d^2+\nu^2}} \tag{7-15}$$

$$\nu=\frac{I_C-I_L}{I_C}$$

式中　U_0——中性点位移电压(kV)；

U_{bd}——消弧线圈投入前电网或发电机回路中性点不对称电压，可取 0.8%相电压；

d——阻尼率，一般对 60～110 kV 架空线路取 3%，35kV 及以下架空线路取 5%，电缆线路取 2%～4%；

ν——脱谐度；

I_C——电网或发电机回路的电容电流(A)；

I_L——消弧线圈电感电流(A)。

18.1.8　在选择消弧线圈的台数和容量时，应考虑消弧线圈的安装地点，并按下列原则进行：

1. 在任何运行方式下，大部分电网不得失去消弧线圈的补偿。不应将多台消弧线圈集中安装在一处，并应避免电网仅装一台消弧线圈。

2. 在发电厂中，发电机电压消弧线圈可装在发电机中性点上，也可装在厂用变压器中性点上。当发电机与变压器为单元连接时，消弧线圈应装在发电机中性点上。在变电站中，消弧线圈宜装在变压器中性点上，6～10kV 消弧线圈也可装在调相机的中性点上。

3. 安装在 YNd 接线双绕组或 YNynd 接线三绕组变压器中性点上的消弧线圈的容量，不应超过变压器三相总容量的 50%，并且不得大于三绕组变压器的任一绕组容量。

4. 安装在 YNyn 接线的内铁芯式变压器中性点上的消弧线圈容量，不应超过变压器三相绕组总容量的 20%。

消弧线圈不应接于零序磁通经铁芯闭路的 YNyn 接线变压器的中性点上(如单相变压器组或外铁型变压器)。

5. 如变压器无中性点或中性点未引出，应装设容量相当的专用接地变压器，接地变压器可与消弧线圈采用相同的额定工作时间。

7.2.5.2　接地电阻

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

18.2.1　接地电阻应按下列技术条件选择和校验：

1. 电压；
2. 正常运行电流；
3. 短时耐受电流及耐受时间；
4. 电阻值；
5. 频率；
6. 中性点位移电压。

18.2.2　接地电阻尚应按下列环境条件校验：

1. 环境温度；
2. 日温差；
3. 相对湿度；
4. 污秽；
5. 海拔高度；
6. 地震烈度。

注:当在屋内使用时,可不校验2、4款;在屋外使用时,则不校验3款。

18.2.3 中性点电阻材质可选用金属、非金属或金属氧化物线性电阻。

18.2.4 系统中性点经电阻接地方式,可根据系统单相对地电容电流值来确定。当接地电容电流小于规定值时,可采用高电阻接地方式,当接地电容电流值大于规定值时,可采用低电阻接地方式。

18.2.5 当中性点采用高电阻接地方式时,高电阻选择计算如下:

1. 经高电阻直接接地

电阻的额定电压:

$$U_R \geqslant 1.05 \times \frac{U_N}{\sqrt{3}} \tag{7-16}$$

电阻值:

$$R = \frac{U_N}{I_R \sqrt{3}} \times 10^3 = \frac{U_N}{K I_C \sqrt{3}} \times 10^3 \tag{7-17}$$

电阻消耗功率:

$$P_R = \frac{U_N}{\sqrt{3}} \times I_R \tag{7-18}$$

式中 R——中性点接地电阻值(Ω);

U_N——系统额定线电压(kV);

U_R——电阻额定电压(kV);

I_R——电阻电流(A);

I_C——系统单相对地短路时电容电流(A);

K——单相对地短路时电阻电流与电容电流的比值,一般取1.1。

2. 经单相配电变压器接地

电阻的额定电压应不小于变压器二次侧电压,一般选用110V或220V。

电阻值:

$$R_{N2} = \frac{U_N \times 10^3}{1.1 \times \sqrt{3} I_C n_\varphi^2} \tag{7-19}$$

接地电阻消耗功率:

$$P_R = I_{R2} \times U_{N2} \times 10^{-3} = \frac{U_N \times 10^3}{\sqrt{3} n_\varphi R_{N2}} \times \frac{U_N}{\sqrt{3} n_\varphi} = \frac{U_N^2}{3 n_\varphi^2 R_{N2}} \times 10^3 \tag{7-20}$$

$$n_\varphi = \frac{U_N \times 10^3}{\sqrt{3} U_{N2}}$$

式中 n_φ——降压变压器一、二次之间的变比;

I_{R2}——次电阻上流过的电流(A);

U_{N2}——单相配电变压器的二次电压(V);

R_{N2}——间接接入的电阻值(Ω)。

18.2.6 当中性点采用低阻接地方式时,接地电阻选择计算如下:

电阻的额定电压:

$$U_R \geqslant 1.05 \times \frac{U_N}{\sqrt{3}} \tag{7-21}$$

电阻值：

$$R_N=\frac{U_N}{\sqrt{3}I_d} \tag{7-22}$$

接地电阻消耗功率：

$$R_R=I_d\times U_R \tag{7-23}$$

式中　R_N——中性点接地电阻值(Ω)；

U_N——系统线电压(V)；

I_d——选定的单相接地电流(A)。

7.2.5.3　接地变压器

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

18.3.1　接地变压器应按下列技术条件选择和校验：

1. 型式；
2. 容量；
3. 绕组电压；
4. 频率；
5. 电流；
6. 绝缘水平；
7. 温升；
8. 过载能力。

18.3.2　接地变压器尚应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；
2. 日温差；
3. 最大风速；
4. 相对湿度；
5. 污秽；
6. 海拔高度；
7. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验2、3、5款，当在屋外使用时，则可不校验4款。

18.3.3　当系统中性点可以引出时宜选用单相接地变压器，系统中性点不能引出时应选用三相变压器。有条件时宜选用干式无激磁调压接地变压器。

18.3.4　接地变压器参数选择

1. 接地变压器的额定电压

安装在发电机或变压器中性点的单相接地变压器额定一次电压：

$$U_{Nb}=U_N \tag{7-24}$$

式中　U_N——发电机或变压器额定一次线电压(kV)。

接于系统母线三相接地变压器额定一次电压应与系统额定电压一致。接地变压器二次电压可根据负载特性确定。

2. 接地变压器的绝缘水平应与连接系统绝缘水平相一致。

3. 接地变压器的额定容量：

单相接地变压器(kV·A)：

$$S_N \geqslant \frac{1}{K} U_2 I_2 = \frac{U_N}{\sqrt{3} K n_\varphi} I_2 \tag{7-25}$$

式中 U_N——接地变压器二次侧电压(kV)；

I_2——二次电阻电流(A)；

K——变压器的过负荷系数(由变压器制造厂提供)。

三相接地变压器，其额定容量应与消弧线圈或接地电阻容量相匹配。若带有二次绕组还应考虑二次负荷容量。

对 Z 型或 YNd 接线三相接地变压器，若中性点接消弧线圈或电阻的话，接地变压器容量为

$$S_N \geqslant Q_r \quad S_N \geqslant P_r \tag{7-26}$$

式中 Q_r——消弧线圈额定容量；

P_r——接地电阻额定容量。

对 Y/开口 d 接线接地变压器(三台单相)，若中性点接消弧线圈或电阻的话，接地变压器容量为

$$S_N \geqslant \sqrt{3} Q_r / 3 \quad S_N \geqslant \sqrt{3} P_r / 3 \tag{7-27}$$

7.2.6 变频装置

规范引用 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

19.0.1 变频装置应按下列技术条件选择：

1. 型式；
2. 容量；
3. 输入、输出电压；
4. 频率；
5. 控制方法；
6. 启动、制动与加、减速特性；
7. 频率输出范围；
8. 过载能力；
9. 温升及冷却方式；
10. 旁路功能；
11. 接口要求；
12. 保护和测量功能；
13. 防护等级；
14. 效率；
15. 功率因数；
16. 装置辅助电源电压；
17. 噪声。

19.0.2　变频装置应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；

2. 相对湿度；

3. 海拔高度；

4. 地震烈度。

19.0.3　装置的输入变压器、旁路接触器等配套一次设备尚应按本规定及其相关标准进行选择校验。

19.0.4　装置除具有本身的各种保护外，还应对电动机及出口相间短路、单相接地短路、断相及过负荷提供保护。此外，装置还宜具有瞬时失电恢复供电后自启动的能力。

19.0.5　装置输入输出两侧电流电压谐波指标应满足《电能质量 公用电网谐波》(GB/T 14549—1993)的有关规定。当装置对安装地点附近的弱电系统有可能造成干扰时，用户在订货时应提出。

19.0.6　在选择确定变频装置时，尚应考虑装置安装地点至电动机之间的距离因素。

19.0.7　在工作环境温度大于 40℃或海拔高度大于 1000m 时，装置宜降容使用。降容修正系数由制造部门给出。

7.2.7　过电压保护设备

7.2.7.1　避雷器

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)



20.1.1　阀式避雷器应按下列技术条件选择：

1. 避雷器额定电压(U_r)；

2. 避雷器持续运行电压(U_c)；

3. 工频放电电压；

4. 冲击放电电压和残压；

5. 通流容量；

6. 额定频率；

7. 机械载荷。

20.1.2　避雷器尚应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；

2. 最大风速；

3. 污秽；

4. 海拔高度；

5. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验 2、3 款。

20.1.3　采用阀式避雷器进行雷电过电压保护时，除旋转电机外，对不同电压范围，不同系统接地方式的避雷器选型如下：

1. 有效接地系统，范围 II 应该选用金属氧化物避雷器；范围 I 宜采用金属氧化物避雷器。

2. 气体绝缘全封闭组合电器和低电阻接地系统应选用金属氧化物避雷器。

3. 不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统,根据系统中谐振过电压和间歇性电弧接地过电压等发生的可能性及其严重程度,可任选金属氧化物避雷器或碳化硅普通阀式避雷器。

20.1.4 旋转电机的雷电侵入波过电压保护,宜采用旋转电机金属氧化物避雷器或旋转电机磁吹阀式避雷器。

20.1.5 阀式避雷器标称放电电流下的残压(U_{res}),不应大于被保护电气设备(旋转电机除外)标准雷电冲击全波耐受电压(BIL)的71%。

20.1.6 有串联间隙金属氧化物避雷器和碳化硅阀式避雷器的额定电压,在一般情况下应符合下列要求:

1. 110kV及220kV有效接地系统不低于$0.8U_m$。

2. 3～10kV和35kV、66kV系统分别不低于$1.1U_m$和U_m;3kV及以上具有发电机的系统不低于1.1倍发电机最高运行电压。

3. 中性点避雷器的额定电压,对3～20kV和35kV、66kV系统,分别不低于$0.64U_m$和$0.58U_m$;对3～20kV发电机,不低于0.64倍发电机最高运行电压。

20.1.7 采用无间隙金属氧化物避雷器作为雷电过电压保护装置时,应符合下列要求:

1. 避雷器的持续运行电压和额定电压应不低于表7-5所列数值。

2. 避雷器能承受所在系统作用的暂时过电压和操作过电压能量。

表7-5 无间隙金属氧化物避雷器持续运行电压和额定电压

系统接地方式		持续运行电压/kV		额定电压/kV	
		相地	中性点	相地	中性点
有效接地	110kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.45U_m$	$0.75U_m$	$0.57U_m$
	220kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.13U_m$ ($0.45U_m$)	$0.75U_m$	$0.17U_m$ ($0.57U_m$)
	330kV、500kV	$U_m/\sqrt{3}$ ($0.59U_m$)	$0.13U_m$	$0.75U_m$ ($0.8U_m$)	$0.17U_m$
不接地	3～20kV	$1.1U_m$; U_{mg}	$0.64U_m$; $U_{mg}/\sqrt{3}$	$1.38U_m$; $1.25U_{mg}$	$0.8U_m$;$0.72U_{mg}$
	35kV、66kV	U_m	$U_m/\sqrt{3}$	$1.25U_m$	$0.72U_{mg}$
消弧线圈		U_m; U_{mg}	$U_m/\sqrt{3}$; $U_{mg}/\sqrt{3}$	$1.25U_m$; $1.25U_{mg}$	$0.72U_m$; $0.72U_{mg}$
低电阻		$0.8U_m$		U_m	
高电阻		$1.1U_m$; U_{mg}	$1.1U_m/\sqrt{3}$; $U_{mg}/\sqrt{3}$	$1.38U_m$; $1.25U_{mg}$	$0.8U_m$; $0.72U_{mg}$

注:①220kV括号外、内数据分别对应变压器中性点经接地电抗器接地和不接地。

②330kV、500kV括号外、内数据分别与工频过电压1.3p.u.和1.4p.u.对应。

③220kV变压器中性点经接地电抗器接地和330kV、500kV变压器或高压并联电抗器中性点经接地电抗器接地时,接地电抗器的电抗与变压器或高压并联电抗器的零序电抗之比不大于1/3。

④110kV、220kV变压器中性点不接地且绝缘水平低于标准时,避雷器的参数需另行确定。

⑤U_m为系统最高电压,U_{mg}为发电机最高运行电压。

20.1.8　保护变压器中性点绝缘的避雷器型式，按表7-6和表7-7选择。

表7-6　中性点非直接接地系统中保护变压器中性点绝缘的避雷器

变压器额定电压/kV	35	63
避雷器型式	FZ—15＋FZ—10 FZ—30 FZ—35 Y1.5W—55	FZ—40 FZ—60 Y1.5W—55 Y1.5W—60 Y1.5W—72

注：避雷器尚应与消弧圈的绝缘水平相配合。

表7-7　中性点直接接地系统中保护变压器中性点绝缘的避雷器

变压器额定电压/kV	110		220	330	500
中性点绝缘	110kV级	35kV级	110kV级	154kV级	63kV级
避雷器型式	FZ—110J FZ—60 Y1.5W—72	Y1.5W—72	FCZ—110 FZ—110J Y1.5W—144	FCZ—154J FZ—154 Y1.5W—84	Y1.5W—96 Y1.5W—102

注：330kV、550kV变压器中性点所选的氧化锌避雷器是按中性点经小电抗接地来选择的。

20.1.9　对中性点为分级绝缘的220kV变压器，如使用同期性能不良的断路器，变压器中性点宜用金属氧化物避雷器保护。当采用阀型避雷器时，变压器中性点宜增设棒型保护间隙，并与阀型避雷器并联。

20.1.10　无间隙金属氧化物避雷器按其标称放电电流的分类，见表7-8。

表7-8　避雷器按其标称放电电流的分类

标称放电电流 I_a	避雷器额定电压 U_r（有效值）/kV	备注
20kA	$420 \leqslant U_r \leqslant 468$	电站用避雷器
10kA	$90 \leqslant U_r \leqslant 468$	
5kA	$4 \leqslant U_r \leqslant 25$	发电机用避雷器
	$5 \leqslant U_r \leqslant 17$	配电用避雷器
	$5 \leqslant U_r \leqslant 90$	并联补偿电容器用避雷器
	$5 \leqslant U_r \leqslant 108$	电站用避雷器
	$42 \leqslant U_r \leqslant 84$	电气化铁道用避雷器
2.5kA	$4 \leqslant U_r \leqslant 13.5$	电动机用避雷器
1.5kA	$0.28 \leqslant U_r \leqslant 0.50$	低压避雷器
	$2.4 \leqslant U_r \leqslant 15.2$	电机中性点用避雷器
	$60 \leqslant U_r \leqslant 207$	变压器中性点用避雷器

20.1.11　系统额定电压35kV及以上的避雷器宜配备放电动作记录器。保护旋转电机的避雷器，应采用残压低的动作记录器。

7.2.7.2 阻容吸收器

规范引用 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

20.2.1 阻容吸收器应按下列技术条件选择:

1. 额定电压;
2. 电阻值;
3. 电容值;
4. 额定频率;
5. 绝缘水平;
6. 布置型式。

20.2.2 阻容吸收器尚应按下列使用环境条件校验:

1. 环境温度;
2. 海拔高度。

20.2.3 当用于中性点不接地系统时,应校验所装阻容吸收器电容值,不应影响系统的中性点接地方式。

20.2.4 当用于易产生高次谐波的电力系统时,应注意选用能适应谐波影响的阻容吸收器。

20.2.5 应校验所在回路的过电压水平,使其始终被限制在设备允许值之内。

7.2.8 高压电瓷选择

规范引用 《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

21.0.1 绝缘子应按下列技术条件选择:

1. 电压;
2. 动稳定;
3. 绝缘水平;
4. 机械荷载。

注:悬式绝缘子不校验2款。

21.0.2 穿墙套管应按下列技术条件选择和校验:

1. 电压;
2. 电流;
3. 动稳定;
4. 热稳定电流及持续时间。

21.0.3 绝缘子及穿墙套管尚应按下列使用环境条件校验:

1. 环境温度;
2. 日温差;
3. 最大风速;
4. 相对湿度;
5. 污秽;

6. 海拔高度；

7. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验2、3、5款；在屋外使用时，则不校验4款。

21.0.4　发电厂与变电所的3～20kV屋外支柱绝缘子和穿墙套管，当有冰雪时，宜采用高一级电压的产品。对3～6kV者，也可采用提高两级电压的产品。

21.0.5　校验支柱绝缘子机械强度时，应将作用在母线截面重心上的母线短路电动力换算到绝缘子顶部。

21.0.6　在校验35kV及以上非垂直安装的支柱绝缘子的机械强度时，应计及绝缘子自重、母线重量和短路电动力的联合作用。

支柱绝缘子，除校验抗弯机械强度外，尚应校验抗扭机械强度。

21.0.7　屋外支柱绝缘子宜采用棒式支柱绝缘子。屋外支柱绝缘子需倒装时，可用悬挂式支柱绝缘子。屋内支柱绝缘子一般采用联合胶装的多棱式支柱绝缘子。

21.0.8　屋内配电装置宜采用铝导体穿墙套管。对于母线型穿墙套管应校核窗口允许穿过的母线尺寸。

21.0.9　悬式绝缘子型式及每串的片数，可按下列条件选择：

1. 按系统最高电压和爬电比距选择

绝缘子串的有效爬电比距不得小于附录C（原规范中，下同）所列数值。在空气污秽地区宜采用防污型绝缘子，并与其他电器采用相同的防污措施。

2. 按内过电压选择

220kV及以下电压，按内过电压倍数和绝缘子串的工频湿闪电压选择。

330kV及以上电压，按避雷器的操作过电压保护水平和绝缘子串正极性操作冲击50%放电电压选择。

3. 按大气过电压选择

由避雷器冲击保护水平确定，且不低于隔离开关和支柱绝缘子的相应值。

选择悬式绝缘子应考虑绝缘子的老化，每串绝缘子要预留的零值绝缘子为：

35～220kV　　耐张串2片；
　　悬垂串1片；
330kV及以上　　耐张串2～3片；
　　悬垂片1～2片。

21.0.10　选择V型悬挂的绝缘子串片数时，应考虑邻近效应对放电电压的影响。

21.0.11　在海拔高度为1000m及以下的Ⅰ级污秽地区，当采用X—4.5或XP—6型悬式绝缘子时，耐张绝缘子串的绝缘子片数一般不小于表7-9中数值。

表7-9　X—4.5或XP—6型绝缘子耐张串片数

电压/kV	35	63	110	220	330	500
绝缘子片数	4	6	8	13	20	30

注：330～500kV可用XP—10型绝缘子。

21.0.12　在海拔高度为1000～4000m地区，当需要增加绝缘子数量来加强绝缘时，耐张绝缘子串的片数应按下式修正：

$$N_H = N[1+0.1(H-1)] \tag{7-28}$$

式中 N_H——修正后的绝缘子片数；

N——海拔1000m及以下地区绝缘子片数；

H——海拔高度(km)。

21.0.13 在空气清洁无明显污秽的地区，悬垂绝缘子串的绝缘子片数可比耐张绝缘子串的同型绝缘子少一片。污秽地区的悬垂绝缘子串的绝缘子片数应与耐张绝缘子串相同。

21.0.14 330kV及以上电压的绝缘子串应装设均压和屏蔽装置，以改善绝缘子串的电压分布和防止连接金具发生电晕。

7.2.9 交流金属封闭开关设备

《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

13.0.1 交流金属封闭开关设备(以下简称开关柜)应按下列技术条件选择：

1. 电压；
2. 电流；
3. 频率；
4. 绝缘水平；
5. 温升；
6. 开断电流；
7. 短路关合电流；
8. 动稳定电流；
9. 热稳定电流和持续时间；
10. 分、合闸机构和辅助回路电压；
11. 系统接地方式；
12. 防护等级。

13.0.2 开关柜尚应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；
2. 日温差；
3. 相对湿度；
4. 海拔高度；
5. 地震烈度。

13.0.3 开关柜的型式选择应遵照《火力发电厂厂用电设计技术规定》(DL/T 5153—2002)的有关条款执行。

13.0.4 开关柜的防护等级应满足环境条件的要求。

13.0.5 当环境温度高于+40℃时，开关柜内的电器应按5.0.3条的要求降容使用，母线的允许电流可按下式计算：

$$I_t = I_{40}\sqrt{\frac{40}{t}} \tag{7-29}$$

式中 t——环境温度(℃)；

I_t——环境温度t下的允许电流；

I_{40}——环境温度40℃时的允许电流。

13.0.6　沿开关柜的整个长度延伸方向应设有专用的接地导体，专用接地导体所承受的动、热稳定电流应为额定短路开断电流的 86.6%。

13.0.7　开关柜内装有电压互感器时，电压互感器高压侧应有防止内部故障的高压熔断器，其开断电流应与开关柜参数相匹配。

13.0.8　高压开关柜中各组件及其支持绝缘件的外绝缘爬电比距（高压电器组件外绝缘的爬电距离与最高电压之比）应符合如下规定：

1. 凝露型的爬电比距。瓷质绝缘不小于 14/18mm/kV（Ⅰ/Ⅱ级污秽等级），有机绝缘不小于 16/20mm/kV（Ⅰ/Ⅱ级污秽等级）。

2. 不凝露型的爬电比距。瓷质绝缘不小于 12mm/kV，有机绝缘不小于 14mm/kV。

13.0.9　单纯以空气作为绝缘介质时，开关内各相导体的相间与对地净距必须符合表 7-10的要求。

表 7-10　开关内各相导体的相间与对地净距　（mm）

额定电压/kV	7.2	12(11.5)	24	40.5
1. 导体至接地间净距	100	125	180	300
2. 不同相导体之间的净距	100	125	180	300
3. 导体至无孔遮栏间净距	130	155	210	330
4. 导体至网状遮栏间净距	200	225	280	400

注：海拔超过 1000m 时本表所列 1、2 项值按每升高 100m 增大 1%进行修正，3、4 项之值应分别增加 1 或 2 项值的修正值。

13.0.10　高压开关柜应具备防止误拉、合断路器，防止带负荷分、合隔离开关（或隔离插头），防止带接地开关（或接地线）送电，防止带电合接地开关（或挂接地线），防止误入带电间隔等五项措施。

7.2.10　72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备

规范引用　《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

12.0.1　气体绝缘金属封闭开关设备及其操动机构应按下列技术条件选择：

1. 电压；
2. 电流（主回路的）；
3. 频率；
4. 绝缘水平；
5. 热稳定电流（主回路的和接地回路的）；
6. 开断电流；
7. 动稳定电流（主回路的和接地回路的）；
8. 短路持续时间；
9. 操作顺序；
10. 机械荷载；
11. 机械和电气寿命；
12. 分、合闸时间；

13. 绝缘气体密度；

14. 年漏气率；

15. 各组成元件(包括它们的操作机构和辅助设备)的额定值。

12.0.2 气体绝缘金属封闭开关设备尚应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；

2. 日温差；

3. 最大风速；

4. 相对湿度；

5. 污秽；

6. 覆冰厚度；

7. 海拔高度；

8. 地震烈度。

注：当在屋内使用时，可不校验2、3、5、6款，当在屋外使用时，则不校验4款。

12.0.3 在经济技术比较合理时，气体绝缘金属封闭开关设备宜用于下列情况的63kV及以上系统：

1. 城市内的变电站。

2. 布置场所特别狭窄地区；

3. 地下式配电装置；

4. 重污秽地区；

5. 高海拔地区；

6. 高烈度地震区。

12.0.4 气体绝缘金属封闭开关设备的各元件按其工作特点尚应满足下列要求：

1. 负荷开关元件

1)开断负荷电流；

2)关合负荷电流；

3)动稳定电流；

4)热稳定电流；

5)操作次数；

6)分、合闸时间；

7)允许切、合空载线路的长度和空载变压器的容量；

8)允许关合短路电流；

9)操作机构型式。

2. 接地开关和快速接地开关元件

1)关合短路电流；

2)关合时间；

3)关合短路电流次数；

4)切断感应电流能力；

5)操作机构型式、操作气压、操作电压、相数。

注：如不能预先确定回路不带电，应采用关合能力等于相应的额定峰值耐受能力的接地开关；如能预先确定回路不带电，可采用不具有关合能力或关合能力低于相应的额定峰值耐受电流的接地开关。一般情况

下不宜采用可移动的接地装置。

3. 电缆终端与引线套管

1)动稳定电流；

2)热稳定电流；

3)安装时的允许倾角。

注：当气体绝缘金属封闭开关设备与电缆或变压器高压出线端直接连接时，如有必要，宜在两者接口的外壳上设置直流和/或交流试验用套管的安装孔，制造厂应根据用户的要求，提供试验用套管或给出套管安装的有关资料。

其他元件的选择，见本规定有关章节。

12.0.5 选择气体绝缘金属封闭开关设备内的元件时，尚应考虑下列情况：

1. 断路器元件的断口布置形式需根据场地情况及检修条件确定，当需降低高度时，宜选用水平布置；当需减小宽度时，可选用垂直布置。

灭弧室宜选用单压式。

2. 负荷开关元件在操作时应三相联动，其三相合闸不同期性不应大于10ms，分闸不同期性不应大于5ms。

3. 隔离开关和接地开关应具有表示其分、合位置的可靠和便于巡视的指示装置，如该位置指示器足够可靠的话，可不设置观察触头位置的观察窗。

4. 在气体绝缘金属封闭开关设备停电回路的最先接地点(不能预先确定该回路不带电)或利用接地装置保护封闭电器外壳时，应选择快速接地开关；而在其他情况下则选用一般接地开关。接地开关或快速接地开关的导电杆应与外壳绝缘。

5. 电压互感器元件宜选用电磁式，如需兼作现场工频实验变压器时，应在订货中予以说明。

6. 在气体绝缘金属封闭开关设备母线上安装的避雷器宜选用SF_6气体作绝缘和灭弧介质的避雷器，在出线端安装的避雷器一般宜选用敞开式避雷器。SF_6避雷器应做成单独的气隔，并应装设防爆装置、监视压力的压力表(或密度继电器)和补气用的阀门。

7. 如气体绝缘金属封闭开关设备将分期建设时，宜在将来的扩建接口处装设隔离开关和隔离气室，以便将来不停电扩建。

12.0.6 为防止因温度变化引起伸缩，以及因基础不均匀下沉，造成气体绝缘金属封闭开关设备漏气与操作机构失灵，在气体绝缘金属封闭开关设备的适当部位应加装伸缩节。

伸缩节主要用于装配调整(安装伸缩节)，吸收基础间的相对位移或热胀冷缩(温度伸缩节)的伸缩量等。

在气体绝缘金属封闭开关设备分开的基础之间允许的相对位移(不均匀下沉)应由制造厂和用户协商确定。

12.0.7 气体绝缘金属封闭开关设备在同一回路的断路器、隔离开关、接地开关之间应设置联锁装置。线路侧的接地开关宜加装带电指示和闭锁装置。

12.0.8 气体绝缘金属封闭开关设备内各元件应分成若干气隔。气隔的具体划分可根据布置条件和检修要求，在订货技术条款中由用户与制造厂商定。气体系统的压力，除断路器外，其余部分宜采用相同气压。

长母线应分成几个隔室，以利于维修和气体管理。

12.0.9 外壳的厚度，应以设计压力和在下述最小耐受时间内外壳不烧穿为依据。

1. 电流等于或大于 40kA,0.1s;

2. 电流小于 40kA,0.2s。

12.0.10 气体绝缘金属封闭开关设备应设置防止外壳破坏的保护措施,制造厂应提供关于所用的保护措施方面的充足资料。

制造厂和用户可商定一个允许的内部故障电弧持续时间。在此时间内,当短路电流不超过某一数值时,将不发生电弧的外部效应。此时可不装设防爆膜或压力释放阀。

12.0.11 气体绝缘金属封闭开关设备外壳要求高度密封性。制造厂宜按《高压开关设备六氟化硫气体密封试验方法》(GB/T 11023—1989)确定每个气体隔室允许的相对年泄漏率。每个隔室的相对年泄漏率应不大于 1%。

12.0.12 气体绝缘金属封闭开关设备的允许温升应按《额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》(GB 7674—2008)的要求执行。

12.0.13 气体绝缘金属封闭开关设备中 SF_6 气体的质量标准应符合《六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则》(GB/T 8905—2012)的规定。

12.0.14 气体绝缘金属封闭开关设备的外壳应接地。

凡不属于主回路或辅助回路的且需要接地的所有金属部分都应接地。外壳、构架等的相互电气连接宜采用紧固连接(如螺栓连接或焊接),以保证电气上连通。

接地回路导体应有足够的截面,具有通过接地短路电流的能力。

在短路情况下,外壳的感应电压不应超过 24V。

7.3 低压配电设备及电气元件的选择

7.3.1 选择要求

7.3.1.1 低压配电电器选择要求

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

规范引用

3.1.1 低压配电设计所选用的电器,应符合国家现行的有关产品标准,并应符合下列规定:

1. 电器应适应所在场所及其环境条件;
2. 电器的额定频率应与所在回路的频率相适应;
3. 电器的额定电压应与所在回路标称电压相适应;
4. 电器的额定电流不应小于所在回路的计算电流;
5. 电器应满足短路条件下的动稳定与热稳定的要求;
6. 用于断开短路电流的电器应满足短路条件下的接通能力和分断能力。

7.3.1.2 按正常工作条件选择电器

《工业与民用配电设计手册》(第三版)

规范引用

(1)电器的额定电压应与所在回路的标称电压相适应。电器的额定频率应与所在回路

的标称频率相适应。

(2)电器的额定电流不应小于所在回路的负荷计算电流。切断负荷电流的电器(如开关、隔离开关)应校验其断开电流。接通和断开启动尖峰电流的电器(如接触器)应校验其接通、分断能力和每小时操作的循环次数(操作频率)。

(3)保护电器还应按保护特性选择,详见本章第四节。

(4)低压电器的工作制通常分为 8 小时工作制、不间断工作制、断续周期工作制、短时工作制及周期工作制等几种,应根据不同要求选择其技术参数。

(5)某些电器还应按有关的专门要求选择,如互感器应符合准确等级的要求。

7.3.1.3　按短路工作条件选择电器

(1)可能通过短路电流的电器(如开关、隔离器、隔离开关、熔断器组合电器及接触器、启动器),应满足在短路条件下短时耐受电流的要求。

(2)断开短路电流的保护电器(如低压熔断器、低压断路器),应满足在短路条件下分断能力的要求。

根据不同变压器容量和高压侧短路容量计算出保护电器出线位置的三相短路电流,以校验保护电器的分断能力。

7.3.1.4　按使用环境条件选择电器

电器产品的选择应适应所在场所的环境条件。

1. 多尘环境

多尘作业工业场所的空间含尘浓度的高低随作业的性质、破碎程度、空气湿度、风向等不同而有很大差异。多尘环境中灰尘的量值用在空气中的浓度(mg/m^3)或沉降量[$mg/(m^2 \cdot d)$]来衡量。灰尘沉降量分级见表 7-11

表 7-11　灰尘沉降量分级　　单位:$mg/(m^2 \cdot d)$

级别	灰尘沉降量(月平均值)	说明
Ⅰ	10～100	清洁环境
Ⅱ	300～550	一般多尘环境
Ⅲ	≥550	多尘环境

对于存在非导电灰尘的一般多尘环境,宜采用防尘型(IP5X 级)电器。对于多尘环境或存在导电性灰尘的一般多尘环境,宜采用尘密型(IP6X 级)电器。对导电纤维(如碳素纤维)环境,应采用 IP65 级电器。

2. 化工腐蚀环境

腐蚀环境类别的划分应根据化学腐蚀性物质的释放严酷度、地区最湿月平均最高相对湿度等条件而定。

化学腐蚀性物质的释放严酷度分级见表 7-12。腐蚀环境分类见表 7-13。户内外腐蚀环境电气设备的选择见表 7-14。五种防护类型防腐电工产品的使用环境条件见表 7-15。

表 7-12 化学腐蚀性物质释放严酷度分级

化学腐蚀性物质名称		级别		
		1级	2级	3级
气体及其释放浓度(mg/m^3)	氯气(Cl_2)	>0.1～0.3	>0.3～1	>1～3
	氯化氢(HCL)	>0.1～0.5	>0.5～1	>1～5
	二氧化硫(SO_2)	>0.1～1	>1～10	>10～40
	氮氧化物(折算成 NO_2)	>0.1～1	>1～10	>10～30
	硫化氢(H_2S)	>0.01～0.5	>0.5～10	>10～70
	氟化物(折算成 HF)	>0.003～0.03	>0.03～0.3	>0.3～2
	氨气(NH_2)	>0.3～3	>3～35	>35～175
雾	酸雾(硫酸、盐酸、硝酸)、碱雾(氢氧化钠)	—	有时存在	经常存在
液体	硫酸、盐酸、硝酸、氢氧化钠、食盐水、氨水	—	有时滴漏	经常滴漏
粉尘	腐蚀性悬浮粉尘	微量	少量	大量
土壤	pH 值	>6.5 到≤8.5	4.5～6.5	<4.5 及>8.5
	有机质(%)	<1	1～1.5	>1.5
	硝酸根离子(%)	$<1\times10^{-4}$	1×10^{-4}～1×10^{-3}	$>1\times10^{-3}$
	电阻率(Ω·m)	>50～100	23～50	<23

注:化学腐蚀性气体浓度系历年最湿月在电气装置安装现场所实测到的平均最高浓度值。实测处距化学腐蚀性气体释放口一般要求在 1m 外,不应紧靠释放源。

表 7-13 腐蚀环境分类

环境特征	类别		
	0类	1类	2类
	轻腐蚀环境	中等腐蚀环境	强腐蚀环境
化学腐蚀性物质的释放状况	一般无泄漏现象,任一种腐蚀性物质的释放严酷度经常为1级,有时(如事故或不正常操作时)可能达2级	有泄漏现象,任一种腐蚀性物质的释放严酷度经常为2级,有时(如事故或不正常操作时)可能达3级	泄漏现象较严重,任一种腐蚀性物质的释放严酷度经常为3级,有时(如事故或不正常操作时)偶然超过3级
地区最湿月平均最高相对湿度(15℃,%)	65及以上	75及以上	85及以上
操作条件	由于风向关系.有时可闻到化学物质气味	经常能感到化学物质的刺激,但不需配戴防护器具进行正常的工艺操作	对眼睛或外呼吸道有强烈刺激,有时需配戴防护器具才能进行正常的工艺操作
表观现象	建筑物和工艺、电气设施只有一般锈蚀现象,工艺和电气设施只需常规维修;一般树木生长正常	建筑物和工艺、电气设施腐蚀现象明显,工艺和电气设施一般需年度大修;一般树木生长不好	建筑物和工艺、电气设施腐蚀现象严重,设备大修间隔期较短;一般树木成活率低
通风情况	通风条件正常	自然通风良好	通风条件不好

注:如果地区最湿月平均最低温度低于25℃时,其同月平均最高相对湿度必须换算到25℃时的相对湿度。

表 7-14　户内外腐蚀环境电气设备的选择

电气设备名称	户内环境类别			户外环境类别		
	0 类	1 类	2 类	0 类	1 类	2 类
配电装置和控制装置	封闭型	F1 级防腐型	F2 级防腐型	W 级户外型	WF1 级户外防腐型	WF2 级户外防腐型
电力变压器	普通型或全密闭型	全密闭型或防腐型	—	普通型或全密闭型	全密闭型或防腐型	—
电动机	基本系列（如 Y 系列电动机）	F1 级专用系列	F2 级专用系列	W 级户外型	WF1 级专用系列	WF2 级专用系列
控制电器和仪表（包括按钮、信号灯、电表、插座等）	保护型、封闭型或密闭型	F1 级防腐型	F2 级防腐型	W 级户外型	WF1 级户外防腐型	WF2 级户外防腐型
灯具	普通型或防水防尘型	防腐型		防水防尘型	户外防腐型	
电线	塑料绝缘电线	橡皮绝缘电线或塑料护套电线		塑料绝缘电线	塑料绝缘电线（1kV 以上架空线路采用防腐钢芯铝铰线）	
电缆	塑料外护层电缆			塑料外护层电缆		
电缆桥架	普通型	F1 级防腐型	F2 级防腐型	普通型	WF1 级防腐型	WF2 级防腐型

注：适用环境类别和标志符号，F1、F2 为户内 1 类、2 类；W、WF1、WF2 为户外 0 类、1 类、2 类。

表 7-15　五种防护类别防腐电工产品的使用环境条件

环境参数		防护类型				
		W	WF1	WF2	F1	F2
空气温度/℃	最高	+40			+40	
	最低	−20，−35			−5	
最高相对湿度/(%)		100			95	
太阳辐射/(W/m^2)		1120			700	
周围空气运动速度/(m/s)		30			10	
降雨强度/(mm/min)		6			—	
凝露		有			有	
结冰(霜)条件		有			有	
溅水条件		有			有	
化学气体浓度①/(mg/m^3)	二氧化硫	0.3	5.0	13	5.0	13
	硫化氢	0.1	3.0	14	3.0	14
	氯气	0.1	0.3	0.6	0.3	0.6
	氯化氢	0.1	1.0	3.0	1.0	3.0

续表

环境参数		防护类型				
		W	WF1	WF2	F1	F2
化学气体浓度①/(mg/m³)	氟化氢	0.01	0.05	0.1	0.05	0.1
	氨气	1.00	10	35	10	35
	氮氧化物②	0.5	3.0	10	3.0	10
沙尘浓度	沙/(mg/m³)	300	1000	4000	300	3000
	尘(飘浮,mg/m³)	5.0	15	20	0.4	4.0
	尘[沉底,mg/(m²·d)]	500	1000	2000	350	1000

注:①化学气体浓度一律采用平均值,即长期测定值的平均值。

②换算为二氧化氮的值。

3.高原地区

海拔超过2000m的地区划为高原地区。

高原气候的特征是气压、气温和绝对湿度都随海拔增高而减小,太阳辐射则随之增强。

《低压开关设备和控制设备 第1部分:总则》(GB/T 14048.1—2012)规定普通型低压电器的正常工作条件为海拔不超过2000m。高原地区应采用相应的高原型电器。

高原条件下对低压电器特性的影响简述如下。

(1)海拔升高,则气温降低,电器的温升增高,在户外有明显补偿作用,而户内及特定环境(如高温场所),则不能补偿海拔升高导致的温升增加值。适宜降低额定容量使用。

(2)海拔升高,空气密度降低,导致绝缘强度下降。一般海拔每升高100m,绝缘强度约降低1%。

(3)用热脱扣元件的断路器、热继电器等,高原下散热条件变化,其脱扣特性有一定偏移,应作适当调整或修正。

(4)海拔升高,在正常负载下,低压电器的接通和分断短路电流能力、机械寿命和电气寿命有所下降。

4.热带地区

热带地区根据常年空气的干湿程度分为湿热带和干热带。

湿热带是指一天内有12h以上气温不低于20℃、相对湿度不低于80%的气候条件,这样的天数全年累计在两个月以上的地区。其气候特征是高温伴随高湿。

干热带是指年最高气温在40℃以上而长期处于低湿度的地区。其气候的特征是高温伴随低湿,气温日变化大,日照强烈且有较多的沙尘。

热带气候条件对低压电器的影响:

(1)由于空气高温、高湿、凝露及霉菌等作用,电器的金属件及绝缘材料容易腐蚀、老化,绝缘性能降低,外观受损。

(2)由于日温差大和强烈日照的影响,密封材料产生变形开裂,熔化流失,导致密封结构的泄漏,绝缘油等介质受潮劣化。

(3)低压电器在户外使用时,如受太阳辐射,其温度升高,将影响其载流量。如受雷暴、雨、盐雾的袭击,将影响其绝缘强度。

湿热带地区宜选用湿热带型产品,在型号后加TH。干热带地区宜选用干热带型产品,在

型号后加 TA。

热带型低压电器使用环境条件见表 7-16。

表 7-16　热带型低压电器使用环境条件

环境因素		湿热带型	干热带型
海拔/m		≤2000	≤2000
空气温度/℃	年最高	40	45
	年最低	0	−5
空气相对湿度/(%)	最湿月平均最大相对湿度	95(25℃)	—
	最干月平均最小相对湿度	—	10(40℃时)
凝露		有	—
霉菌		有	—
沙尘		—	有

7.3.1.5　爆炸危险环境低压电器

参见 1.5 节相关内容。

7.3.2　开关电器和隔离电器的选择

7.3.2.1　隔离电器

规范引用　**《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)**

3.1.4　在 TN-C 系统中不应将保护接地中性导体隔离，严禁将保护接地中性导体接入开关电器。

3.1.5　隔离电器应符合下列规定：

1. 断开触头之间的隔离距离，应可见或能明显标示“闭合”和“断开”状态；
2. 隔离电器应能防止意外的闭合；
3. 应有防止意外断开隔离电器的锁定措施。

3.1.6　隔离电器应采用下列电器：

1. 单极或多极隔离电器、隔离开关或隔离插头；
2. 插头与插座；
3. 连接片；
4. 不需要拆除导线的特殊端子；
5. 熔断器；
6. 具有隔离功能的开关的断路器。

3.1.7　半导体开关电器，严禁作为隔离电器。

7.3.2.2　功能性开关电器

规范引用　**《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)**

3.1.8　独立控制电气装置的电路的每一部分，均应装设功能性开关电器。

3.1.9 功能性开关电器可采用下列电器：

1. 开关；

2. 半导体开关电器；

3. 断路器；

4. 接触器；

5. 继电器；

6. 16A 及以下的插头和插座。

3.1.10 隔离器、熔断器和连接片，严禁作为功能性开关电器。

7.3.2.3 具有断开中性极的开关电器

规范引用 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

3.1.15 在符合下列情况时，应选用具有断开中性极的开关电器：

1. 有中性导体的 IT 系统与 TT 系统或 TN 系统之间的电源转换开关电器；

2. TT 系统中，当负荷侧有中性导体时选用隔离电器；

3. IT 系统中，当有中性导体时选用开关电器。

3.1.16 在电路中需防止电流流经不期望的路径时，可选用具有断开中性极的开关电器。

7.3.2.4 绝缘监测电器

规范引用 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

3.1.17 在 IT 系统中安装的绝缘监测电器，应能连续监测电气装置的绝缘。绝缘监测电器应只有使用钥匙或工具才能改变其整定值，其测试电压和绝缘电阻整定值应符合下列规定：

1. SELV 和 PELV 回路的测试电压应为 250V，绝缘电阻整定值应低于 0.5MΩ；

2. SELV 和 PELV 回路以外且不高于 500V 回路的测试电压应为 500V，绝缘电阻整定值应低于 0.5MΩ；

3. 高于 500V 回路的测试电压应为 1000V，绝缘电阻整定值应低于 1.0MΩ。

7.3.3 保护电器的选择

7.3.3.1 剩余电流动作保护电器

规范引用 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

3.1.11 剩余电流动作保护电器的选择，应符合下列规定：

1. 除在 TN-S 系统中，当中性导体为可靠的地电位时可不断开外，应能断开所保护回路的所有带点导体；

2. 剩余电路动作保护电器的额定剩余不动作电流，应大于在负荷正常运行时预期出现的对地泄漏电流；

3. 剩余电流动作保护电器的类型，应根据接地故障的类型按现行国家标准《剩余电流

动作保护电器的一般要求》(GB/Z 6829—2008)的有关规定确定。

3.1.12　采用剩余电流动作保护电器作为间接接触防护电器的回路时,必须装设保护导体。

3.1.13　在TT系统中,除电气装置的电源进线端与保护电器之间的电气装置符合现行国家标准《电击防护 装置和设备的通用部分》(GB/T 17045—2008)规定的Ⅱ类设备的要求或绝缘水平与Ⅱ类设备相同外,当仅用一台剩余电流动作保护电器保护电气装置时,应将保护电器布置在电气装置的电源进线端。

3.1.14　在IT系统中,当采用剩余电流动作保护电器保护电气装置,且在第一次故障不断开电路时,其额定剩余不动作电流值不应小于第一次对地故障时流经故障回路的电流。

7.3.3.2　短路保护

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

6.2.1　配电线路的短路保护电器,应在短路电流对导体和连接处产生的热作用和机械作用造成危害之前切断电源。

6.2.2　短路保护电器,应能分断其安装处的预期短路电流。预期短路电流应通过计算或测量确定。当短路保护电器的分断能力小于其安装处预期短路电流时,在该段线路的上一级应装设具有所需分断能力的短路保护电器;其上下两级的短路保护电器的动作特性应配合,使该段线路及其短路保护器能承受通过的短路能量。

6.2.3　绝缘导体的热稳定,应按其截面积校验,且应符合下列规定:

1. 当短路持续时间小于等于5s时,绝缘导体的截面积应符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)式(3.2.14)的要求,其相导体的系数可按《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)表A.0.7的规定确定;

2. 短路持续时间小于0.1s时,校验绝缘导体截面积应计入短路电流非周期分量的影响;大于5s时,校验绝缘导体截面积应计入散热的影响。

6.2.4　当短路保护电器为断路器时,被保护线路末端的短路电流不应小于断路器瞬时或短延时过电流脱扣器整定电流的1.3倍。

6.2.5　短路保护电器应装设在回路首端和回路导体载流量减小的地方。当不能设置在回路导体载流量减小的地方时,应采用下列措施:

1. 短路保护电器至回路导体载流量减小处的这一段线路长度,不应超过3m;

2. 应采取将该段线路的短路危险降至最小的措施;

3. 该段线路不应靠近可燃物。

6.2.6　导体载流量减小处回路的短路保护,当离短路点最近的绝缘导体的热稳定和上一级短路保护电器符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第6.2.3条、第6.2.4条的规定时,该段回路可不装设短路保护电器,但应敷设在不燃或难燃材料的管、槽内。

6.2.7　下列连接线或回路,当在布线时采取了防止机械损伤等保护措施,且布线不靠近可燃物时,可不装设短路保护电器:

1. 发电机、变压器、整流器、蓄电池与配电控制屏之间的连接线;

2. 断电比短路导致的线路烧毁更危险的旋转电机励磁回路、起重电磁铁的供电回路、电流互感器的二次回路等;

3. 测量回路。

6.2.8 并联导体组成的回路,任一导体在最不利的位置处发生短路故障时,短路保护电器应能立即可靠切断该段故障线路,其短路保护电器的装设,应符合下列规定:

1. 当符合下列条件时,可采用一个短路保护电器:

1)布线时所有并联导体采用了防止机械损伤等保护措施;

2)导体不靠近可燃物。

2. 两根导体并联的线路,当不能满足本条第1款条件时,在每根并联导体的供电端应装设短路保护电器。

3. 超过两根导体的并联线路,当不能满足本条第1款条件时,在每根并联导体的供电端和负荷端均应装设短路保护电器。

7.3.3.3 过负荷保护

规范引用 《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)



6.3.1 配电线路的过负荷保护,应在过负荷电流引起的导体温升对导体的绝缘、接头、端子或导体周围的物质造成损害之前切断电源。

6.3.2 过负荷保护电器宜采用反时限特性的保护电器,其分断能力可低于保护电器安装处的短路电流值,但应能承受通过的短路能量。

6.3.3 过负荷保护电器的动作特性,应符合下列公式的要求:

$$I_B \leqslant I_n \leqslant I_z \tag{7-30}$$

$$I_2 \leqslant 1.45 I_z \tag{7-31}$$

式中 I_B——回路计算电流(A);

I_n——熔断器熔体额定电流或断路器额定电流或整定电流(A);

I_z——导体允许持续载流量(A);

I_2——保证保护电器可靠动作的电流(A)。

当保护电器为断路器时,I_2为约定时间内的约定动作电流;当为熔断器时,I_2为约定时间内的约定熔断电流。

6.3.4 过负荷保护电器,应装设在回路首端或导体载流量减小处。当过负荷保护电器与回路导体载流量减小处之间的这一段线路没有引出分支线路或插座回路,且符合下列条件之一时,过负荷保护电器可在该段回路任意处装设:

1. 过负荷保护电器与回路导体载流量减小处的距离不超过3m,该段线路采取了防止机械损伤等保护措施,且不靠近可燃物;

2. 该段线路的短路保护符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第6.2节的规定。

6.3.5 除火灾危险、爆炸危险场所及其他有规定的特殊装置和场所外,符合下列条件之一的配电线路,可不装设过负荷保护电器:

1. 回路中载流量减小的导体,当其过负荷时,上一级过负荷保护电器能有效保护该段导体;

2. 不可能过负荷的线路,且该段线路的短路保护符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第6.2节的规定,并没有分支线路或出线插座;

3. 用于通信、控制、信号及类似装置的线路;

4. 即使过负荷也不会发生危险的直埋电缆或架空线路。

6.3.6　过负荷断电将引起严重后果的线路，其过负荷保护不应切断线路，可作用于信号。

6.3.7　多根并联导体组成的回路采用一个过负荷保护电器时，其线路的允许持续载流量，可按每根并联导体的允许持续载流量之和，且符合下列规定：

1. 导体的型号、截面、长度和敷设方式均相同；

2. 线路全长内无分支线路引出；

3. 线路的布置使各并联导体的负载电流基本相等。

7.3.3.4　接地故障保护

7.3.3.4.1　接地故障保护

要求参考 1.4 节相关内容。

7.3.3.4.2　采用断路器作接地故障保护

(1)采用带短延时过电流脱扣器的断路器。采用熔断器或断路器的瞬时过电流脱扣器不能满足接地故障要求时，则可采用带短延时过电流脱扣器的断路器作接地故障保护，其短延时过电流脱扣器整定电流值 I_{set2} 应符合下式要求

$$I_d \geqslant 1.3 I_{set2} \tag{7-32}$$

对于同一断路器，由于短延时过电流脱扣器整定电流值 I_{set2} 通常只有瞬时过电流脱扣器整定电流 I_{set3} 的 1/5～1/3，所以式(7-32)要求更容易满足。

(2)采用带接地故障保护的断路器。接地故障保护又分两种方式，即零序电流保护和剩余电流保护。

1)零序电流保护。三相四线制配电线路正常运行时，如果三相负载完全平衡，无谐波电流，忽略正常泄漏电流，则流过中性线(N)的电流为 0，即零序电流，$I_N=0$；如果三相负载不平衡，则产生零序电流，$I_N \neq 0$；如果某一相发生接地故障，零序电流 I_N 将大大增加，达到 $I_{N(G)}$。因此利用检测零序电流值发生的变化，可取得接地故障的信号。

检测零序电流通常是在断路器后三个相线(或母线)上各装一只电流互感器(TA)，取 3 只 TA 二次电流矢量和乘以变比，即零序电流 $\dot{I}_N \dot{I}_U + \dot{I}_V + \dot{I}W$。

零序电流保护整定值 I_{set0} 必须大于正常运行时 PEN 线中流过的最大三相不平衡电流、谐波电流、正常泄漏电流之和；而在发生接地故障时必须动作。建议零序电流保护整定值 I_{set0} 按下列两式确定

$$I_{set0} \geqslant 2.0 I_N \tag{7-33}$$

$$I_{N(G)} \geqslant 1.3 I_{set0} \tag{7-34}$$

式中　$I_{N(G)}$ ——发生接地故障时检测的零序电流。

配电干线正常运行时的零序电流值 I_N 通常不超过计算电流 I_c 的 20%～25%。零序电流保护整定值 I_{set0} 可整定在断路器长延时脱扣器电流 I_{set1} 的 50%～60%为宜，同时必须满足式(7-34)的要求。可见，零序电流保护整定值 I_{set0} 比短延时整定值 I_{set2} 小得多，满足式(7-34)规定比满足式(7-32)又容易得多。

零序电流保护适用于 TN-C、TN-C-S、TN-S 系统，但不适用于谐波电流较大的配电

线路。

2)剩余电流保护。剩余电流保护所检测的是三相电流加中性线电流的相量和,即剩余电流 $\dot{I}_{PE}=\dot{I}_U+\dot{I}_V+\dot{I}_W+\dot{I}_N$。

三相四线配电线路正常运行时,即使三相负载不平衡,剩余电流只是线路泄漏电流,当某一相发生接地故障时,则检测的三相电流加中性电流的相量和不为零,而等于接地故障电流 $I_{PE(G)}$。

检测剩余电流通常是在断路器后三相线和中性线上各装一只 TA,取 4 只 TA 二次电流相量和,或采用专用的剩余电流互感器,乘以变比,即剩余电流 $\dot{I}_{PE}=\dot{I}_U+\dot{I}_V+\dot{I}_W+\dot{I}_N$。

为避免误动作,断路器剩余电流保护整定值 I_{set4} 应大于正常运行时线路和设备的泄漏电流总和的 2.5～4 倍,同时,断路器接地故障保护的整定值 I_{set4} 还应符合下式要求

$$I_{PE(G)}\geqslant 1.3I_{set4} \tag{7-35}$$

可见,采用剩余电流保护比零序电流保护的动作灵敏度更高。

剩余电流保护适用于 TN-S 系统,但不适用于 TN-C 系统。

8 35kV及以下导体、电缆和架空线路的设计

8.1 导体的选择和设计

8.1.1 3～35kV配电装置导体的选择

8.1.1.1 环境条件

除参照7.1节中二的6.0.1、6.0.2、6.0.3、6.0.4、6.0.5、6.0.6、6.0.7、6.0.10条外，还需按下列要求。

《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

规范引用

6.0.3 选择屋外导体时，应考虑日照的影响。对于按经济电流密度选择的屋外导体，如发电机引出线的封闭母线、组合导线等，可不校验日照的影响。

计算导体日照的附加温升时，日照强度取0.1W/cm^2，风速取0.5m/s。

日照对屋外电器的影响，应由制造部门在产品设计中考虑。当缺乏数据时，可按电气额定电流的80%选择设备。

8.1.1.2 一般要求

《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)

规范引用

7.1.1 导体应根据具体情况，按下列技术条件进行选择或校验：

1. 电流；
2. 电晕；
3. 动稳定或机械强度；
4. 热稳定；
5. 允许电压降；
6. 经济电流密度。

注：当选择的导体为非裸导体时，可不校验2款。

7.1.2 导体尚应按下列使用环境条件校验：

1. 环境温度；
2. 日照；

3. 风速；

4. 污秽；

5. 海拔高度。

注：当在屋内使用时，可不校验2、3、4款。

7.1.3 载流导体一般选用铝、铝合金或铜材料；对持续工作电流较大且位置特别狭窄的发电机出线端部或污秽对铝有较严重腐蚀的场所宜选铜导体；钢母线只在额定电流小而短路电动力大或不重要的场合下使用。

7.1.4 普通导体的正常最高工作温度不宜超过+70℃，在计及日照影响时，钢芯铝线及管形导体可按不超过+80℃考虑。

当普通导体接触面处有镀(搪)锡的可靠覆盖层时，可提高到+85℃。

特种耐热导体的最高工作温度可根据制造厂提供的数据选择使用，但要考虑高温导体对连接设备的影响，并采取防护措施。

7.1.5 在按回路正常工作电流选择导体截面时，导体的长期允许载流量，应按所在地区的海拔及环境温度进行修正。

导体的长期允许载流量及其修正系数可采用《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)附录D所列数值。

导体采用多导体结构时，应考虑邻近效应和热屏蔽对载流量的影响。

7.1.6 除配电装置的汇流母线外，较长导体的截面宜按经济电流密度选择。导体的经济电流密度可参照《导体和电器选择设计技术规定》(DL/T 5222—2005)附录E所列数值选取。

当无合适规格导体时，导体面积可按经济电流密度计算截面的相邻下一档选取。

7.1.8 验算短路热稳定时，导体的最高允许温度，对硬铝及铝镁(锰)合金可取200℃；硬铜可取300℃，短路前的导体温度应采用额定负荷下的工作温度。

裸导体的热稳定可用下式验算：

$$S \geqslant \frac{\sqrt{Q_d}}{C} \tag{8-1}$$

$$C = \sqrt{K \ln \frac{\tau + t_2}{\tau + t_1} \times 10^{-4}}$$

式中 S——裸导体的载流截面(mm^2)；

Q_d——短路电流的热效应($A^2 \cdot S$)；

C——热稳定系数；

K——常数，[$WS/(\Omega cm^4)$]，铜为522×10^6，铝为222×10^6；

τ——常数(℃)，铜为235，铝为245；

t_1——导体短路前的发热温度(℃)；

t_2——短路时导体最高允许温度(℃)，铝及铝镁(锰)合金可取200，铜导体取300。

在不同的工作温度、不同材料下，C值可取表8-1所列数值。

表8-1 不同工作温度、不同材料下C值

工作温度/℃	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
硬铝及铝镁合金	95	93	91	89	87	85	83	81	79	77	75	73
硬铜	181	179	176	174	171	169	166	164	161	159	157	155

7.1.9　导体和导体、导体和电器的连接处，应有可靠的连接接头。

硬导体间的连接应尽量采用焊接，需要断开的接头及导体与电器端子的连接处，应采用螺栓连接。

不同金属的螺栓连接接头，在屋外或特殊潮湿的屋内，应有特殊的结构措施和适当的防腐蚀措施。

金具应选用合适的标准产品。

7.1.10　导体无镀层接头接触面的电流密度，不宜超过表8-2所列数值。矩形导体接头的搭接长度不应小于导体的宽度。

表8-2　无镀层接头接触面的电流密度　（A/mm²）

工作电流/A	J_{Cu}（铜－铜）	J_{Al}（铝－铝）
＜200	0.31	$J_{Al}=0.78J_{Cu}$
200～2000	$0.31-1.05(I-200)\times10^{-4}$	
＞2000	0.12	

注：I为回路工作电流。

8.1.2　低压配电系统导体的选择

《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)

规范引用

3.2.1　导体的类型应按敷设方式及环境条件选择。绝缘导体除满足上述条件外，尚应符合工作电压的要求。

3.2.2　选择导体截面，应符合下列要求：

1. 按敷设方式及环境条件确定的导体载流量，不应小于计算电流。

2. 导体应满足线路保护的要求。

3. 导体应满足动稳定与热稳定的要求。

4. 线路电压损伤应满足用电设备正常工作及启动时端电压的要求。

5. 导体最小截面应满足机械强度的要求。固定敷设的导体最小截面，应根据敷设方式、绝缘子支撑点间距和导体材料按表8-3的规定确定。

表8-3　固定敷设的导体最小截面

敷设方式	绝缘子支撑点间距/m	导体最小截面/mm²	
		铜导体	铝导体
裸导体敷设在绝缘子上	—	10	16
绝缘导体敷设在绝缘子上	≤2	1.5	10
	＞2，且≤6	2.5	10
	＞6，且≤16	4	10
	＞16，且≤25	6	10
绝缘导体穿导管敷设或在槽盒中敷设	—	1.5	10

6. 用于负荷长期稳定的电缆,经技术经济比较确认合理时,可按经济电流密度选择导体截面,且应符合现行国家标准《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)的有关规定。

3.2.3 导体的负荷电流在正常持续运行中产生的温度,不应使绝缘的温度超过表 8-4 的规定。

表 8-4 各类绝缘最高运行温度 (℃)

绝缘类型	导体的绝缘	护套
聚氯乙烯	70	—
交联氯乙烯和乙丙橡胶	90	—
聚氯乙烯护套矿物绝缘电缆或可触及的裸护套矿物绝缘电缆	—	70
不允许触及和不与可燃物相接触的裸护套矿物绝缘电缆	—	105

3.2.4 绝缘导体和无铠装电缆的载流量以及载流量的校正系数,应按现行国家标准《建筑物电气装置 第 5 部分:电气设备的选择和安装 第 523 节:布线系统载流量》(GB/T 16895.15—2002)的有关规定确定。铠装电缆的载流量以及载流量的校正系数,应按现行国家标准《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)有关规定确定。

3.2.5 绝缘导体或电缆敷设处的环境温度应按表 8-5 的规定。

表 8-5 绝缘导体或电缆敷设处的环境温度

电缆敷设场所	有无机械通风	选取的环境温度
土中直埋	—	埋深处的最热月平均地温
水下	—	最热月的日最高水温平均值
户外空气中、电缆沟	—	最热月的日最高温度平均值
有热源设备的厂房	有	通风设计规范
	无	最热月的最高温度平均值另加 5℃
一般性厂房及其他建筑物内	有	通风设计温度
	无	最热月的日最高温度平均值
户内电缆沟	无	最热月的日最高温度平均值另加 5℃
隧道、电气竖井		
隧道、电气竖井	有	通风设计温度

注:数量较多的电缆工作温度大于 70℃的电缆敷设于未装机械通风的隧道、电气竖井时,应计入对环境温升的影响,不能直接采取仅加 5℃。

3.2.6 当电缆沿敷设路径中各场所的散热条件不相同时,电缆的散热条件应按最不利的场所确定。

3.2.7 符合下列情况之一的线路,中性导体的截面应与相导体的截面相同:

1. 单相两线制线路;

2. 铜相导体截面小于等于 16mm^2或铝相导体截面小于等于 25mm^2的三相四线制线路。

3.2.8 符合下列条件的线路,中性导体截面可小于相导体截面;

1. 铜相导体截面大于 16mm^2或铝相导体截面大于 25mm^2;

2. 铜中性导体截面大于等于 16mm^2或铝中性导体截面大于等于 2mm^2;

3. 在正常工作时,包括谐波电流在内的中性导体预期最大电流小于等于中性导体的允

许载流量；

4. 中性导体已进行了过电流保护。

3.2.9　在三相四线制线路中存在谐波电流时，计算中性导体的电流应计入谐波电流的效应。当中性导体电流大于相导体电流时，电缆相导体截面应按中性导体电流选择。当三相平衡系统中存在谐波电流，4芯或5芯电缆内中性导体与相导体材料相同和截面相等时，电缆载流量的降低系数应按表8-6的规定确定。

表8-6　电缆载流量的降低系数

相电流中三次谐波分量/(%)	降低系数	
	按相电流选择截面	按中性导体电流选择截面
0～15	1.0	—
＞15，且≤33	0.86	—
＞33，且≤45	—	0.86
＞45	—	1.0

3.2.10　在配电线路中固定敷设的铜保护接地中性导体的截面积不应小于10mm^2，铝保护接地中性导体的截面积不应小于16mm^2。

3.2.11　保护接地中性导体应按预期出现的最高电压进行绝缘。

3.2.12　当从电气系统的某一点起，由保护接地中性导体改变为单独的中性导体和保护导体时，应符合下列规定：

1. 保护导体和中性导体应分别设置单独的端子或母线；

2. 保护接地中性导体应首先接到为保护导体设置的端子或母线上；

3. 中性导体不用连接到电气系统的任何其他的接地部分。

3.2.13　装置外可导电部分严禁作为保护接地中性导体的一部分。

3.2.14　保护导体截面积的选择，应符合下列规定：

1. 应能满足电气系统间接接触防护自动切断电源的条件，且能承受预期的故障电流或短路电流。

2. 保护导体的截面积应符合式(8-2)的要求，或按表8-7的规定确定：

$$S \geqslant \frac{I}{k}\sqrt{t} \tag{8-2}$$

式中　S——保护导体的截面积(mm^2)；

I——通过保护电器的预期故障电流或短路电流[交流方均根值(A)]；

t——保护电器自动切断电流的动作时间(s)；

k——系数，按《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)式(A.0.1)计算或按表A.0.2～表A.0.6确定。

表8-7　保护导体的最小截面积　(mm^2)

相导体截面积	保护导体的最小截面积	
	保护导体与相导体使用相同材料	保护导体与相导体使用不同材料
≤16	S	$\frac{S \times k_1}{k_2}$

续表

相导体截面积	保护导体的最小截面积	
	保护导体与相导体使用相同材料	保护导体与相导体使用不同材料
>16,且≤35	16	$\frac{16\times k_1}{k_2}$
>35	$\frac{S}{2}$	$\frac{S\times k_1}{2\times k_2}$

注:①S——相导体截面积;

②k_1——相导体的系数,应按《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)表 A.0.7 的规定确定;

③k_2——保护导体的系数,应按《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)表 A.0.2~表 A.0.6 的规定确定。

3. 电缆外的保护导体或不与相导体共处于同一外护物内的保护导体,其截面积应符合下列规定:

1)有机械损伤防护时,铜导体不应小于 2.5mm^2,铝导体不应小于 16mm^2;

2)无机械损伤防护时,铜导体不应小于 4mm^2,铝导体不应小于 16mm^2。

4. 当两个或更多个回路公用一个保护导体时,其截面积应符合下列规定:

1)应根据回路中最严重的预期故障电流或短路电流和动作时间确定截面积,并应符合式(3.2.14)的要求;

2)对应于回路中的最大相导体截面积时,应按表 8-7 的规定确定。

5. 永久性连接的用电设备的保护导体预期电流超过 10mA 时,保护导体的截面积应按下列条件之一确定:

1)铜导体不应小于 10mm^2或铝导体不应小于 16mm^2;

2)当保护导体小于本款第 1 项规定时,应为用电设备敷设第二根保护导体,其截面积不应小于第一根保护导体的截面积,第二根保护导体应一直敷设到截面积大于等于 10mm^2的铜保护导体或 16mm^2的铝保护导体处,并应为用电设备的第二根保护导体设置单独的接线端子;

3)当铜保护导体与铜相导体在一根多芯电缆中时,电缆中所有铜导体截面积的总和不应小于 10mm^2;

4)当保护导体安装在金属导管内并与金属导管并接时,应采用截面积大于等于 2.5mm^2的铜导体。

附录 A *系数 k 值*

A.0.1 由导体、绝缘和其他部分的材料以及初始和最终温度决定的系数,其值应按下式计算:

$$k=\sqrt{\frac{Q_c(\beta+20℃)}{\rho_{20}}I_n\left(1+\frac{\theta_f-\theta_i}{\beta+\theta_i}\right)} \tag{8-3}$$

式中 k——系数;

Q_c——导体材料在 20℃时的体积热容量,按表 8-8 的规定确定[J/(℃·mm^3)];

β——导体在 0℃时电阻率温度系数的倒数,按表 8-8 的规定确定(℃);

ρ_{20}——导体材料在 20℃时的电阻率,按表 8-8 的规定确定(Ω·mm);

θ_i——导体初始温度(℃);

θ_f——导体最终温度(℃)。

表 8-8　不同材料的参数值

材料	β/℃	Q_c/[J/(℃·mm³)]	ρ_{20}/(Ω·mm)
铜	234.5	3.45×10^{-3}	17.241×10^{-6}
铝	228	2.5×10^{-3}	28.264×10^{-6}
铅	230	1.45×10^{-3}	214×10^{-6}
钢	202	3.8×10^{-3}	138×10^{-6}

A.0.2　非电缆芯线且不与其他电缆成束敷设的绝缘保护导体的初始、最终温度和系数，其值应按表 8-9 的规定确定。

表 8-9　非电缆芯线且不与其他电缆成束敷设的绝缘保护导体的初始、最终温度和系数

导体绝缘	温度/℃		导体材料的系数		
	初始	最终	铜	铝	钢
70℃聚氯乙烯	30	160(140)	143(133)	95(88)	52(49)
90℃聚氯乙烯	30	160(140)	143(133)	95(88)	52(49)
90℃热固性材料	30	250	176	116	64
60℃橡胶	30	200	159	105	58
85℃橡胶	30	220	166	110	60
硅橡胶	30	350	201	133	73

注：括号内数值适用于截面积大于 300mm² 的聚氯乙烯绝缘导体。

A.0.3　与电缆护层接触但不与其他电缆成束敷设的裸保护导体的初始、最终温度和系数，其值应按表 8-10 的规定确定。

表 8-10　与电缆护层接触但不与其他电缆成束敷设的裸保护导体的初始、最终温度和系数

电缆护层	温度/℃		导体材料的系数		
	初始	最终	铜	铝	钢
聚氯乙烯	30	200	159	105	58
聚乙烯	30	150	138	91	50
氯磺化聚乙烯	30	220	166	110	60

A.0.4　电缆芯线或与其他电缆或绝缘导体成束敷设的保护导体的初始、最终温度和系数，其值应按表 8-11 的规定确定。

表 8-11　电缆芯线或与其他电缆或绝缘导体成束敷设的保护导体的初始、最终温度和系数

导体绝缘	温度/℃		导体材料的系数		
	初始	最终	铜	铝	钢
70℃聚氯乙烯	70	160(140)	115(103)	76(68)	42(37)
90℃聚氯乙烯	90	160(140)	100(86)	66(57)	36(31)
90℃热固性材料	90	250	143	94	52
60℃橡胶	60	200	141	93	51

续表

导体绝缘	温度/℃		导体材料的系数		
	初始	最终	铜	铝	钢
85℃橡胶	85	220	134	89	48
硅橡胶	180	350	132	87	47

注:括号内数值适用于截面积大于 300mm² 的聚氯乙烯绝缘导体。

A.0.5 用电缆的金属护层做保护导体的初始、最终温度和系数,其值应按表 8-12 的规定确定。

表 8-12 用电缆的金属护层做保护导体的初始、最终温度和系数

电缆绝缘	温度/℃		导体材料的系数			
	初始	最终	铜	铝	铅	钢
70℃聚氯乙烯	60	200	141	93	26	51
90℃聚氯乙烯	80	200	128	85	23	45
90℃热固性材料	80	200	128	85	23	45
60℃橡胶	55	200	144	95	26	52
85℃橡胶	75	220	140	93	25	51
硅橡胶	70	200	135	—	—	—
裸露的矿物护套	105	250	135	—	—	—

注:电缆的金属护层,如铠装、金属护套、同心导体等。

A.0.6 裸导体温度不损伤相邻材料时的初始、最终温度和系数,其值应按表 8-13 的规定确定。

表 8-13 裸导体温度不损伤相邻材料时初始、最终温度和系数

裸导体所在的环境	温度/℃				导体材料的系数		
	初始温度	最终温度			铜	铝	钢
		铜	铝	钢			
可见的和狭窄的区域内	30	500	300	500	228	125	82
正常环境	30	200	200	200	159	105	58
有火灾危险	30	150	150	150	138	91	50

A.0.7 相导体的初始、最终温度和系数,其值应按表 8-14 的规定确定。

表 8-14 相导体的初始、最终温度和系数

导体绝缘		温度/℃		相导体的系数		
		初始温度	最终温度	铜	铝	铜导体的锡焊接头
聚氯乙烯		70	160(140)	115(103)	76(68)	115
交联聚乙烯和乙丙橡胶		90	250	143	94	—
工作温度 60℃的橡胶		60	200	141	93	—
矿物质	聚氯乙烯护套	70	160	115	—	—
	裸护套	105	250	135	—	—

注:括号内数值适用于截面积大于 300mm² 的聚氯乙烯绝缘导体。

3.2.15　总等电位联结用保护联结导体的截面积，不应小于配电线路的最大保护导体截面积的1/2，保护联结导体截面积的最小值和最大值应符合表8-15的规定。

表8-15　保护联结导体截面积的最小值和最大值　（mm^2）

导体材料	最小值	最大值
铜	6	25
铝	16	按载流量与25mm^2铜导体的载流量相同确定
钢	50	

3.2.16　辅助等电位联结用保护联结导体截面积的选择，应符合下列规定：

1. 联结两个外露可导电部分的保护联结导体，其电导不应小于接到外露可导电部分的较小的保护导体的电导；

2. 联结外露可导电部分和装置外可导电部分的保护联结导体，其电导不应小于相应保护导体截面积1/2的导体所具有的电导；

3. 单独敷设的保护联结导体，其截面积应符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第3.2.14条第3款的规定。

3.2.17　局部等电位联结用保护联结导体截面积的选择，应符合下列规定：

1. 保护联结导体的电导不应小于局部场所内最大保护导体截面积1/2的导体所具有的电导；

2. 保护联结导体采用铜导体时，其截面积最大值为25mm^2，保护联结导体为其他金属导体时，其截面积最大值应按其与25mm^2铜导体的载流量相同确定；

3. 单独敷设的保护联结导体，其截面积应符合《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)第3.2.14条第3款的规定。

8.2　电线、电缆选择和设计

8.2.1　电线、电缆芯线材质

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

3.1.1　控制电缆应采用铜导体。

3.1.2　用于下列情况的电力电缆，应选用铜导体：

1. 电机励磁、重要电源、移动式电气设备等需保持连接具有高可靠性的回路。

2. 振动剧烈、有爆炸危险或对铝有腐蚀等严酷的工作环境。

3. 耐火电缆。

4. 紧靠高温设备布置。

5. 安全性要求高的公共设施。

6. 工作电流较大，需增多电缆根数时。

3.1.3　除限于产品仅有铜导体和第3.1.1、3.1.2条确定应选用铜导体的情况外，电缆导体材质可选用铜或铝导体。

8.2.2 电线、电缆芯数

规范引用 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)



3.2.1 1kV及以下电源中性点直接接地时,三相回路的电缆芯数选择,应符合下列规定:

1. 保护线与受电设备的外露可导电部位连接接地时,应符合下列规定:

1)保护线与中性线合用同一导体时,应选用四芯电缆。

2)保护线与中性线各自独立时,宜选用五芯电缆;当满足《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第5.1.16条的规定时,也可采用四芯电缆与另外的保护线导体组成。

2. 受电设备外露可导电部位的接地与电源系统接地各自独立时,应选用四芯电缆。

3.2.2 1kV及以下电源中性点直接接地时,单相回路的电缆芯数的选择,应符合下列规定:

1. 保护线与受电设备的外露可导电部位连接接地时,应符合下列规定:

1)保护线与中性线合用同一导体时,应选用两芯电缆。

2)保护线与中性线各自独立时,宜选用三芯电缆;在满足《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第5.1.16条的规定时,也可采用两芯电缆与另外的保护线导体组成。

2. 受电设备外露可导电部位的接地与电源系统接地各自独立时,应选用两芯电缆。

3.2.3 3～35kV三相供电回路的电缆芯数的选择,应符合下列规定:

1. 工作电流较大的回路或电缆敷设于水下时,每回可选用3根单芯电缆。

2. 除上述情况外,应选用三芯电缆;三芯电缆可选用普通统包型,也可选用3根单芯电缆绞合构造型。

3.2.4 110kV三相供电回路,除敷设于湖、海水下等场所且电缆截面不大时可选用三芯型外,每回可选用3根单芯电缆。

110kV以上三相供电回路,每回应选用3根单芯电缆。

3.2.5 电气化铁路等高压交流单相供电回路,应选用两芯电缆或每回选用2根单芯电缆。

3.2.6 直流供电回路的电缆芯数的选择,应符合下列规定:

1. 低压直流供电回路,宜选用两芯电缆;也可选用单芯电缆。

2. 高压直流输电系统,宜选用单芯电缆;在湖、海等水下敷设时,也可选用同轴型两芯电缆。

8.2.3 电缆绝缘水平

规范引用 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)



3.3.1 交流系统中电力电缆导体的相间额定电压,不得低于使用回路的工作线电压。

3.3.2 交流系统中电力电缆导体与绝缘屏蔽或金属层之间额定电压的选择,应符合下列规定:

1. 中性点直接接地或经低电阻接地的系统,接地保护动作不超过1min切除故障时,不

应低于100%的使用回路工作相电压。

2. 除上述供电系统外，其他系统不宜低于133%的使用回路工作相电压；在单相接地故障可能持续8h以上，或发电机回路等安全性要求较高的情况，宜采用173%的使用回路工作相电压。

3.3.3　交流系统中电缆的耐压水平，应满足系统绝缘配合要求。

3.3.4　直流输电电缆绝缘水平，应具有能随极性反向、直流与冲击叠加等的耐压考核；使用的交联聚乙烯电缆应具有抑制空间电荷积聚及其形成局部高场强等适应直流电场运行的特性。

3.3.5　控制电缆额定电压的选择，不应低于该回路工作电压，并应符合下列规定：

1. 沿高压电缆并行敷设的控制电缆(导引电缆)，应选用相适合的额定电压。

2. 220kV及以上高压配电装置敷设的控制电缆，应选用450/750V。

3. 除上述情况外，控制电缆宜选用450/750V；外部电气干扰影响很小时，可选用较低的额定电压。

8.2.4　电缆绝缘类型

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

3.4.1　电缆绝缘类型的选择，应符合下列规定：

1. 在使用电压、工作电流及其特征和环境条件下，电缆绝缘特性不应小于常规预期使用寿命。

2. 应根据运行可靠性、施工和维护的简便性以及允许最高工作温度与造价的综合经济性等因素选择。

3. 应符合防火场所的要求，并应利于安全。

4. 明确需要与环境保护协调时，应选用符合环保的电缆绝缘类型。

3.4.2　常用电缆的绝缘类型的选择，应符合下列规定：

1. 中、低压电缆绝缘类型选择除应符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.4.3～3.4.7条的规定外，低压电缆宜选用聚氯乙烯或交联聚乙烯型挤塑绝缘类型，中压电缆宜选用交联聚乙烯绝缘类型。

明确需要与环境保护协调时，不得选用聚氯乙烯绝缘电缆。

2. 高压交流系统中电缆线路，宜选用交联聚乙烯绝缘类型。在有较多的运行经验地区，可选用自容式充油电缆。

3. 高压直流输电电缆，可选用不滴流浸渍纸绝缘、自容式充油类型。在需要提高输电能力时，宜选用以半合成纸材料构造的型式。

直流输电系统不宜选用普通交联聚乙烯型电缆。

3.4.3　移动式电气设备等经常弯移或有较高柔软性要求的回路，应使用橡皮绝缘等电缆。

3.4.4　放射线作用场所，应按绝缘类型的要求，选用交联聚乙烯或乙丙橡皮绝缘等耐射线辐照强度的电缆。

3.4.5　60℃以上高温场所，应按经受高温及其持续时间和绝缘类型要求，选用耐热聚氯乙烯、交联聚乙烯或乙丙橡皮绝缘等耐热型电缆；100℃以上高温环境，宜选用矿物绝缘

电缆。

高温场所不宜选用普通聚氯乙烯绝缘电缆。

3.4.6 －15℃以下低温环境,应按低温条件和绝缘类型要求,选用交联聚乙烯、聚乙烯绝缘、耐寒橡皮绝缘电缆。

低温环境不宜用聚氯乙烯绝缘电缆。

3.4.7 在人员密集的公共设施,以及有低毒阻燃性防火要求的场所,可选用交联聚乙烯或乙丙橡皮等不含卤素的绝缘电缆。

防火有低毒性要求时,不宜选用聚氯乙烯电缆。

3.4.8 除按《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.4.5～3.4.7条明确要求的情况外,6kV以下回路,可选用聚氯乙烯绝缘电缆。

3.4.9 对6kV重要性回路或6kV以上的交联聚乙烯电缆,应选用内、外半导电与绝缘层三层共挤工艺特征的型式。

8.2.5 电缆护层类型

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

3.5.1 电缆护层的选择,应符合下列要求:

1. 交流系统单芯电力电缆,当需要增强电缆抗外力时,应选用非磁性金属铠装层,不得选用未经非磁性有效处理的钢制铠装。

2. 在潮湿、含化学腐蚀环境或易受水浸泡的电缆,其金属层、加强层、铠装上应有聚乙烯外护层,水中电缆的粗钢丝铠装应有挤塑外护层。

3. 在人员密集的公共设施,以及有低毒阻燃性防火要求的场所,可选用聚氯乙烯或乙丙橡皮等不含卤素的外护层。

防火有低毒性要求时,不宜选用聚氯乙烯外护层。

4. 除－15℃以下低温环境或药用化学液体浸泡场所,以及有低毒难燃性要求的电缆挤塑外护层宜选用聚乙烯外,其他可选用聚氯乙烯外护层。

5. 用在有水或化学液体浸泡场所的6～35kV重要性或35kV以上交联聚乙烯电缆,应具有符合使用要求的金属塑料复合阻水层、金属套等径向防水构造。

敷设于水下的中、高压交联聚乙烯电缆应具有纵向阻水构造。

3.5.2 自容式充油电缆的加强层类型,当线路未设置塞止式接头时最高与最低点之间高差,应符合下列规定:

1. 仅有铜带等径向加强层时,容许高差应为40m;但用于重要回路时宜为30m。

2. 径向和纵向均有铜带等加强层时,容许高差应为80m;但用于重要回路时宜为60m。

3.5.3 直埋敷设时电缆外护层的选择,应符合下列规定:

1. 电缆承受较大压力或有机械损伤危险时,应具有加强层或钢带铠装。

2. 在流砂层、回填土地带等可能出现位移的土壤中,电缆应有钢丝铠装。

3. 白蚁严重危害地区用的挤塑电缆,应选用较高硬度的外护层,也可在普通外护层上挤包较高硬度的薄外护层,其材质可采用尼龙或特种聚烯烃共聚物等,也可采用金属套或钢带铠装。

4. 地下水位较高的地区,应选用聚乙烯外护层。

5. 除上述情况外，可选用不含铠装的外护层。

3.5.4　空气中固定敷设时电缆护层的选择，应符合下列规定：

1. 小截面挤塑绝缘电缆直接在臂式支架上敷设时，宜具有钢带铠装。

2. 在地下客运、商业设施等安全性要求高而鼠害严重的场所，塑料绝缘电缆应具有金属包带或钢带铠装。

3. 电缆位于高落差的受力条件时，多芯电缆应具有钢丝铠装，交流单芯电缆应符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.5.1条第1款的规定。

4. 敷设在桥架等支承密集的电缆，可不含铠装。

5. 明确需要与环境保护相协调时，不得采用聚氯乙烯外护层。

6. 除应按《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.5.1条第3、4款和本条第5款的规定，以及60℃以上高温场所应选用聚乙烯等耐热外护层的电缆外，其他宜选用聚氯乙烯外护层。

3.5.5　移动式电气设备等需经常弯移或有较高柔软性要求回路的电缆，应选用橡皮外护层。

3.5.6　放射线作用场所的电缆，应具有适合耐受放射线辐照强度的聚氯乙烯、氯丁橡皮、氯磺化聚乙烯等外护层。

3.5.7　保护管中敷设的电缆，应具有挤塑外护层。

3.5.8　水下敷设电缆护层的选择，应符合下列规定：

1. 在沟渠、不通航小河等不需铠装层承受拉力的电缆，可选用钢带铠装。

2. 江河、湖海中电缆，选用的钢丝铠装型式应满足受力条件。当敷设条件有机械损伤等防范要求时，可选用符合防护、耐蚀性增强要求的外护层。

3.5.9　路径通过不同敷设条件时电缆护层的选择，应符合下列规定：

1. 线路总长未超过电缆制造长度时，宜选用满足全线条件的同一种或差别尽量小的一种以上型式。

2. 线路总长超过电缆制造长度时，可按相应区段分别采用适合的不同型式。

8.2.6　控制电缆及其金属屏蔽

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

3.6.1　双重化保护的电流、电压，以及直流电源和跳闸控制回路等需增强可靠性的两套系统，应采用各自独立的控制电缆。

3.6.2　下列情况的回路，相互间不应合用同一根控制电缆：

1. 弱电信号、控制回路与强电信号、控制回路。

2. 低电平信号与高电平信号回路。

3. 交流断路器分相操作的各相弱电控制回路。

3.6.3　弱电回路的每一对往返导线，应属于同一根控制电缆。

3.6.4　电流互感器、电压互感器每组二次绕组的相线和中性线应配置于同一根电缆内。

3.6.5　强电回路控制电缆，除位于高压配电装置或与高压电缆紧邻并行较长，需抑制干扰的情况外，其他可不含金属屏蔽。

3.6.6 弱电信号、控制回路的控制电缆,当位于存在干扰影响的环境又不具备有效抗干扰措施时,宜具有金属屏蔽。

3.6.7 控制电缆金属屏蔽类型的选择,应按可能的电气干扰影响,计入综合抑制干扰措施,并应满足降低干扰或过电压的要求,同时应符合下列规定:

1. 位于110kV以上配电装置的弱电控制电缆,宜选用总屏蔽或双层式总屏蔽。

2. 用于集成电路、微机保护的电流、电压和信号接点的控制电缆,应选用屏蔽型。

3. 计算机监控系统信号回路控制电缆的屏蔽选择,应符合下列规定:

1)开关量信号,可选用总屏蔽。

2)高电平模拟信号,宜选用对绞线芯总屏蔽,必要时也可选用对绞线芯分屏蔽。

3)低电平模拟信号或脉冲量信号,宜选用对绞线芯分屏蔽,必要时也可选用对绞线芯分屏蔽复合总屏蔽。

4. 其他情况,应按电磁感应、静电感应和地电位升高等影响因素,选用适宜的屏蔽型式。

5. 电缆具有钢铠、金属套时,应充分利用其屏蔽功能。

3.6.8 需降低电气干扰的控制电缆,可增加一个接地的备用芯,并应在控制室侧一点接地。

3.6.9 控制电缆金属屏蔽的接地方式,应符合下列规定:

1. 计算机监控系统的模拟信号回路控制电缆屏蔽层,不得构成两点或多点接地,应集中式一点接地。

2. 集成电路、微机保护的电流、电压和信号的电缆屏蔽层,应在开关安置场所与控制室同时接地。

3. 除上述情况外的控制电缆屏蔽层,当电磁感应的干扰较大时,宜采用两点接地;静电感应的干扰较大时,可采用一点接地。

双重屏蔽或复合式总屏蔽,宜对内、外屏蔽分别采用一点、两点接地。

4. 两点接地的选择,还宜在暂态电流作用下屏蔽层不被烧熔。

3.6.10 强电控制回路导体截面不应小于1.5mm^2,弱电控制回路不应小于0.5mm^2。

8.2.7 电力电缆导体截面

规范引用 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)



3.7.1 电力电缆导体截面的选择,应符合下列规定:

1. 最大工作电流作用下的电缆导体温度,不得超过电缆使用寿命的允许值。持续工作回路的电缆导体工作温度,应符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录A的规定。

2. 最大短路电流和短路时间作用下的电缆导体温度,应符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录A的规定。

3. 最大工作电流作用下连接回路的电压降,不得超过该回路允许值。

4. 10kV及以下电力电缆截面除应符合上述1～3款的要求外,尚宜按电缆的初始投资与使用寿命期间的运行费用综合经济的原则选择。10kV及以下电力电缆经济电流截面选用方法宜符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录B的规定。

5. 多芯电力电缆导体最小截面，铜导体不宜小于2.5mm²，铝导体不宜小于4mm²。

6. 敷设于水下的电缆，当需要导体承受拉力且较合理时，可按抗拉要求选择截面。

3.7.2　10kV及以下常用电缆按100%持续工作电流确定电缆导体允许最小截面，宜符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录C和附录D的规定，其载流量按照下列使用条件差异影响计入校正系数后的实际允许值应大于回路的工作电流。

1. 环境温度差异。

2. 直埋敷设时土壤热阻系数差异。

3. 电缆多根并列的影响。

4. 户外架空敷设无遮阳时的日照影响。

3.7.3　除《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.7.2条规定的情况外，电缆按100%持续工作电流确定电缆导体允许最小截面时，应经计算或测试验证，计算内容或参数选择应符合下列规定：

1. 含有高次谐波负荷的供电回路电缆或中频负荷回路使用的非同轴电缆，应计入集肤效应和邻近效应增大等附加发热的影响。

2. 交叉互连接地的单芯高压电缆，单元系统中三个区段不等长时，应计入金属层的附加损耗发热的影响。

3. 敷设于保护管中的电缆，应计入热阻的影响；排管中不同孔位的电缆还应分别计入互热因素的影响。

4. 敷设于封闭、半封闭或透气式耐火槽盒中的电缆，应计入包含该材质及其盒体厚度、尺寸等因素对热阻增大的影响。

5. 施加在电缆上的防火涂料、包带等覆盖层厚度大于1.5mm时，应计入其热阻的影响。

6. 沟内电缆埋砂且无经常性水分补充时，应按砂质情况选取大于2.0K·m/W的热阻系数计入对电缆热阻增大的影响。

3.7.4　电缆导体工作温度大于70℃的电缆，计算持续允许载流量时，应符合下列规定：

1. 数量较多的该类电缆敷设于未装机械通风的隧道、竖井时，应计入对环境温升的影响。

2. 电缆直埋敷设在干燥或潮湿土壤中，除实施换土处理等能避免水分迁移的情况外，土壤热阻系数取值不宜小于2.0K·m/W。

3.7.5　电缆持续允许载流量的环境温度，应按使用地区的气象温度多年平均值确定，并应符合表8-16的规定。

表8-16　电缆持续允许载流量的环境温度　(℃)

电缆敷设场所	有无机械通风	选取的环境温度
土中直埋	—	埋深处的最热月平均地温
水下	—	最热月的日最高水温平均值
户外空气中、电缆沟	—	最热月的日最高温度平均值
有热源设备的厂房	有	通风设计温度
	无	最热月的日最高温度平均值另加5℃

续表

电缆敷设场所	有无机械通风	选取的环境温度
一般性厂房、室内	有	通风设计温度
	无	最热月的日最高温度平均值
户内电缆沟	无	最热月的日最高温度平均值另加5℃*
隧道		
隧道	有	通风设计温度

注:当*属于《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.7.4条1款的情况时,不能直接采取仅加5℃。

3.7.6 通过不同散热条件区段的电缆导体截面的选择,应符合下列规定:

1. 回路总长未超过电缆制造长度时,应符合下列规定:

1)重要回路,全长宜按其中散热较差区段条件选择同一截面。

2)非重要回路,可对大于10m区段散热条件按段选择截面,但每回路不宜多于3种规格。

3)水下电缆敷设有机械强度要求需增大截面时,回路全长可选同一截面。

2. 回路总长超过电缆制造长度时,宜按区段选择电缆导体截面。

3.7.7 对非熔断器保护回路,应按满足短路热稳定条件确定电缆导体允许最小截面,并应按照《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录E的规定计算。

3.7.8 选择短路计算条件,应符合下列规定:

1. 计算用系统接线,应采用正常运行方式,且宜按工程建成后5～10年发展规划。

2. 短路点应选取在通过电缆回路最大短路电流可能发生处。

3. 宜按三相短路计算。

4. 短路电流作用时间,应取保护动作时间与断路器开断时间之和。对电动机等直馈线,保护动作时间应取主保护时间;其他情况,宜取后备保护时间。

3.7.9 1kV以下电源中性点直接接地时,三相四线制系统的电缆中性线截面,不得小于按线路最大不平衡电流持续工作所需最小截面;有谐波电流影响的回路,尚宜符合下列规定:

1. 气体放电灯为主要负荷的回路,中性线截面不宜小于相芯线截面。

2. 除上述情况外,中性线截面不宜小于50%的相芯线截面。

3.7.10 1kV以下电源中性点直接接地时,配置保护接地线、中性线或保护接地中性线系统的电缆导体截面的选择,应符合下列规定:

1. 中性线、保护接地中性线的截面,应符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.7.9条的规定;配电干线采用单芯电缆作为保护接地中性线时,截面应符合下列规定:

1)铜导体,不小于10mm^2。

2)铝导体,不小于16mm^2。

2. 保护地线的截面,应满足回路保护电器可靠动作的要求,并应符合表8-17的规定。

表8-17 按热稳定要求的保护地线允许最小截面 (mm^2)

电缆相芯线截面	保护地线允许最小截面
$S\leqslant16$	S

续表

电缆相芯线截面	保护地线允许最小截面
16＜S≤35	16
35＜S≤400	$S/2$
400＜S≤800	200
S＞800	$S/4$

3. 采用多芯电缆的干线，其中性线和保护地线合一的导体，截面不应小于4mm^2。

3.7.11　交流供电回路由多根电缆并联组成时，各电缆宜等长，并应采用相同材质、相同截面的导体；具有金属套的电缆，金属材质和构造截面也应相同。

3.7.12　电力电缆金属屏蔽层的有效截面，应满足在可能的短路电流作用下温升值不超过绝缘与外护层的短路允许最高温度平均值。

8.3　电缆敷设的设计

8.3.1　一般规定

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

5.1.1　电缆的路径选择，应符合下列规定：

1. 应避免电缆遭受机械性外力、过热、腐蚀等危害。

2. 满足安全要求条件下，应保证电缆路径最短。

3. 应便于敷设、维护。

4. 宜避开将要挖掘施工的地方。

5. 充油电缆线路通过起伏地形时，应保证供油装置合理配置。

5.1.2　电缆在任何敷设方式及其全部路径条件的上下左右改变部位，均应满足电缆允许弯曲半径要求。

电缆的允许弯曲半径，应符合电缆绝缘及其构造特性要求。对自容式铅包充油电缆，其允许弯曲半径可按电缆外径的20倍计算。

5.1.3　同一通道内电缆数量较多时，若在同一侧的多层支架上敷设，应符合下列规定：

1. 应按电压等级由高至低的电力电缆、强电至弱电的控制和信号电缆、通信电缆“由上而下”的顺序排列。

当水平通道中含有35kV以上高压电缆，或为满足引入柜盘的电缆符合允许弯曲半径要求时，宜按“由下而上”的顺序排列。

在同一工程中或电缆通道延伸于不同工程的情况，均应按相同的上下排列顺序配置。

2. 支架层数受通道空间限制时，35kV及以下的相邻电压级电力电缆，可排列于同一层支架上，1kV及以下电力电缆也可与强电控制和信号电缆配置在同一层支架上。

3. 同一重要回路的工作与备用电缆实行耐火分隔时，应配置在不同层的支架上。

5.1.4　同一层支架上电缆排列的配置，宜符合下列规定：

1. 控制和信号电缆可紧靠或多层叠置。

2. 除交流系统用单芯电力电缆的同一回路可采取品字形(三叶形)配置外,对重要的同一回路多根电力电缆,不宜叠置。

3. 除交流系统用单芯电缆情况外,电力电缆相互间宜有1倍电缆外径的空隙。

5.1.5 交流系统用单芯电力电缆的相序配置及其相间距离,应同时满足电缆金属护层的正常感应电压不超过允许值,并宜保证按持续工作电流选择电缆截面小的原则确定。

未呈品字形配置的单芯电力电缆,有两回线及以上配置在同一通路时,应计入相互影响。

5.1.6 交流系统用单芯电力电缆与公用通信线路相距较近时,宜维持技术经济上有利的电缆路径,必要时可采取下列抑制感应电势的措施:

1. 使电缆支架形成电气通路,且计入其他并行电缆抑制因素的影响。

2. 对电缆隧道的钢筋混凝土结构实行钢筋网焊接连通。

3. 沿电缆线路适当附加并行的金属屏蔽线或罩盒等。

5.1.7 明敷的电缆不宜平行敷设在热力管道的上部。电缆与管道之间无隔板防护时的允许距离,除城市公共场所应按现行国家标准《城市工程管线综合规划规范》(GB 50289—1998)执行外,尚应符合表8-18的规定。

表8-18 电缆与管道之间无隔板防护时的允许距离 (mm)

电缆与管道之间走向		电力电缆	控制和信号电缆
热力管道	平行	1000	500
	交叉	500	250
其他管道	平行	150	100

5.1.8 抑制电气干扰强度的弱电回路控制和信号电缆,除应符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第3.6.6～3.6.9条的规定外,当需要时可采取下列措施:

1. 与电力电缆并行敷设时相互间距,在可能范围内宜远离;对电压高、电流大的电力电缆间距宜更远。

2. 敷设于配电装置内的控制和信号电缆,与耦合电容器或电容式电压互感、避雷器或避雷针接地处的距离,宜在可能范围内远离。

3. 沿控制和信号电缆可平行敷设屏蔽线,也可将电缆敷设于钢制管或盒中。

5.1.9 在隧道、沟、浅槽、竖井、夹层等封闭式电缆通道中,不得布置热力管道,严禁有易燃气体或易燃液体的管道穿越。

5.1.10 爆炸性气体危险场所敷设电缆,应符合下列规定:

1. 在可能范围应保证电缆距爆炸释放源较远,敷设在爆炸危险较小的场所,并应符合下列规定:

1)易燃气体比空气重时,电缆应埋地或在较高处架空敷设,且对非铠装电缆采取穿管或置于托盘、槽盒中等机械性保护。

2)易燃气体比空气轻时,电缆应敷设在较低处的管、沟内,沟内非铠装电缆应埋砂。

2. 电缆在空气中沿输送易燃气体的管道敷设时,应配置在危险程度较低的管道一侧,并应符合下列规定:

1)易燃气体比空气重时,电缆宜配置在管道上方。

2)易燃气体比空气轻时,电缆宜配置在管道下方。

3. 电缆及其管、沟穿过不同区域之间的墙、板孔洞处,应采用非燃性材料严密堵塞。

4. 电缆线路中不应有接头;如采用接头,必须具有防爆性。

5.1.11　用于下列场所、部位的非铠装电缆,应采用具有机械强度的管或罩加以保护:

1. 非电气人员经常活动场所的地坪以上2m内、地中引出的地坪以下0.3m深电缆区段。

2. 可能有载重设备移经电缆上面的区段。

5.1.12　除架空绝缘型电缆外的非户外型电缆,户外使用时,宜采取罩、盖等遮阳措施。

5.1.13　电缆敷设在有周期性振动的场所,应采取下列措施:

1. 在支持电缆部位设置由橡胶等弹性材料制成的衬垫。

2. 使电缆敷设成波浪状且留有伸缩节。

5.1.14　在有行人通过的地坪、堤坝、桥面、地下商业设施的路面,以及通行的隧洞中,电缆不得敞露敷设于地坪或楼梯走道上。

5.1.15　在工厂的风道、建筑物的风道、煤矿里机械提升的除运输机通行的斜井通风巷道或木支架的竖井井筒中,严禁敷设敞露式电缆。

5.1.16　1kV以上电源直接接地且配置独立分开的中性线和保护地线构成的系统,采用独立于相芯线和中性线以外的电缆作为保护地线时,同一回路的该两部分电缆敷设方式,应符合下列规定:

1. 在爆炸性气体环境中,应敷设在同一路径的同一结构管、沟或盒中。

2. 除上述情况外,宜敷设在同一路径的同一构筑物中。

5.1.17　电缆的计算长度,应包括实际路径长度与附加长度。附加长度宜计入下列因素:

1. 电缆敷设路径地形等高差变化、伸缩节或迂回备用裕量。

2. 35kV及以上电缆蛇形敷设时的弯曲状影响增加量。

3. 终端或接头制作所需剥截电缆的预留段、电缆引至设备或装置所需的长度。35kV及以下电缆敷设度量时的附加长度,应符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录G的规定。

5.1.18　电缆的订货长度,应符合下列规定:

1. 长距离的电缆线路,宜采取计算长度作为订货长度。

对35kV以上单芯电缆,应按相计算;线路采取交叉互连等分段连接方式时,应按段开列。

2. 对35kV及以下电缆用于非长距离时,宜计及整盘电缆中截取后不能利用其剩余段的因素,按计算长度计入5%～10%的裕量,作为同型号规格电缆的订货长度。

3. 水下敷设电缆的每盘长度,不宜小于水下段的敷设长度。有困难时,可含有工厂制的软接头。

8.3.2　敷设方式选择

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

5.2.1　电缆敷设方式的选择,应视工程条件、环境特点和电缆类型、数量等因素,以及

满足运行可靠、便于维护和技术经济合理的原则来选择。

5.2.2 电缆直埋敷设方式的选择,应符合下列规定:

1. 同一通路少于6根的35kV及以下电力电缆,在厂区通往远距离辅助设施或城郊等不易有经常性开挖的地段,宜采用直埋;在城镇人行道下较易翻修情况或道路边缘,也可采用直埋。

2. 厂区内地下管网较多的地段,可能有熔化金属、高温液体溢出的场所,待开发有较频繁开挖的地方,不宜用直埋。

3. 在化学腐蚀或杂散电流腐蚀的土壤范围内,不得采用直埋。

5.2.3 电缆穿管敷设方式的选择,应符合下列规定:

1. 在有爆炸危险场所明敷的电缆,露出地坪上需加以保护的电缆,以及地下电缆与公路、铁道交叉时,应采用穿管。

2. 地下电缆通过房屋、广场的区段,以及电缆敷设在规划中将作为道路的地段,宜采用穿管。

3. 在地下管网较密的工厂区、城市道路狭窄且交通繁忙或道路挖掘困难的通道等电缆数量较多时,可采用穿管。

5.2.4 下列场所宜采用浅槽敷设方式:

1. 地下水位较高的地方。

2. 通道中电力电缆数量较少,且在不经常有载重车通过的户外配电装置等场所。

5.2.5 电缆沟敷设方式的选择,应符合下列规定:

1. 在化学腐蚀液体或高温熔化金属溢流的场所,或在载重车辆频繁经过的地段,不得采用电缆沟。

2. 经常有工业水溢流、可燃粉尘弥漫的厂房内,不宜采用电缆沟。

3. 在厂区、建筑物内地下电缆数量较多但不需要采用隧道,城镇人行道开挖不便且电缆需分期敷设,同时不属于上述情况时,宜采用电缆沟。

4. 有防爆、防火要求的明敷电缆,应采用埋砂敷设的电缆沟。

5.2.6 电缆隧道敷设方式的选择,应符合下列规定:

1. 同一通道的地下电缆数量多,电缆沟不足以容纳时应采用隧道。

2. 同一通道的地下电缆数量较多,且位于有腐蚀性液体或经常有地面水溢流的场所,或含有35kV以上高压电缆以及穿越公路、铁道等地段,宜采用隧道。

3. 受城镇地下通道条件限制或交通流量较大的道路下,与较多电缆沿同一路径有非高温的水、气和通信电缆管线共同配置时,可在公用性隧道中敷设电缆。

5.2.7 垂直走向的电缆,宜沿墙、柱敷设;当数量较多,或含有35kV以上高压电缆时,应采用竖井。

5.2.8 电缆数量较多的控制室、继电保护室等处,宜在其下部设置电缆夹层。电缆数量较少时,也可采用有活动盖板的电缆层。

5.2.9 在地下水位较高的地方、化学腐蚀液体溢流的场所,厂房内应采用支持式架空敷设。建筑物或厂区不宜地下敷设时,可采用架空敷设。

5.2.10 明敷且不宜采用支持式架空敷设的地方,可采用悬挂式架空敷设。

5.2.11 通过河流、水库的电缆,无条件利用桥梁、堤坝敷设时,可采取水下敷设。

5.2.12 厂房内架空桥架敷设方式不宜设置检修通道,城市电缆线路架空桥架敷设方

式可设置检修通道。

8.3.3　地下直埋敷设

规范引用　《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

5.3.1　直埋敷设电缆的路径选择，宜符合下列规定：

1. 应避开含有酸、碱强腐蚀或杂散电流电化学腐蚀严重影响的地段。

2. 无防护措施时，宜避开白蚁危害地带、热源影响和易遭外力损伤的区段。

5.3.2　直埋敷设电缆方式，应符合下列规定：

1. 电缆应敷设于壕沟里，并应沿电缆全长的上、下紧邻侧铺以厚度不小于100mm的软土或砂层。

2. 沿电缆全长应覆盖宽度不小于电缆两侧各50mm的保护板，保护板宜采用混凝土。

3. 城镇电缆直埋敷设时，宜在保护板上层铺设醒目标志带。

4. 位于城郊或空旷地带，沿电缆路径的直线间隔100m、转弯处或接头部位，应竖立明显的方位标志或标桩。

5. 当采用电缆穿波纹管敷设于壕沟时，应沿波纹管顶全长浇注厚度不小于100mm的素混凝土，宽度不应小于管外侧50mm，电缆可不含铠装。

5.3.3　直埋敷设于非冻土地区时，电缆埋置深度应符合下列规定：

1. 电缆外皮至地下构筑物基础，不得小于0.3m。

2. 电缆外皮至地面深度，不得小于0.7m；当位于行车道或耕地下时，应适当加深，且不宜小于1.0m。

5.3.4　直埋敷设于冻土地区时，宜埋入冻土层以下，当无法深埋时可埋设在土壤排水性好的干燥冻土层或回填土中，也可采取其他防止电缆受到损伤的措施。

5.3.5　直埋敷设的电缆，严禁位于地下管道的正上方或正下方。

电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离，应符合表8-19的规定。

表8-19　电缆与电缆、管道、道路、构筑物等之间的容许最小距离　(m)

电缆直埋敷设时的配置情况		平行	交叉
控制电缆之间		—	0.5①
电力电缆之间或与控制电缆之间	10kV及以下电力电缆	0.1	0.5①
	10kV以上电力电缆	0.25②	0.5①
不同部门使用的电缆		0.5②	0.5①
电缆与地下管沟	热力管沟	2③	0.5①
	油管或易(可)燃气管道	1	0.5①
	其他管道	0.5	0.5①
电缆与铁路	非直流电气化铁路路轨	3	1.0
	直流电气化铁路路轨	10	1.0
电缆与建筑物基础		0.6③	—
电缆与公路边		1.0③	—
电缆与排水沟		1.0③	—

续表

电缆直埋敷设时的配置情况	平行	交叉
电缆与树木的主干	0.7	—
电缆与1kV以下架空线电杆	1.0③	—
电缆与1kV以上架空线杆塔基础	4.0③	—

注:①用隔板分隔或电缆穿管时不得小于0.25m;

②用隔板分隔或电缆穿管时不得小于0.1m;

③特殊情况时,减小值不得小于50%。

5.3.6 直埋敷设的电缆与铁路、公路或街道交叉时,应穿于保护管,保护范围应超出路基、街道路面两边以及排水沟边0.5m以上。

5.3.7 直埋敷设的电缆引入构筑物,在贯穿墙孔处应设置保护管,管口应实施阻水堵塞。

5.3.8 直埋敷设电缆的接头配置,应符合下列规定:

1. 接头与邻近电缆的净距,不得小于0.25m。

2. 并列电缆的接头位置宜相互错开,且净距不宜小于0.5m。

3. 斜坡地形处的接头安置,应呈水平状。

4. 重要回路的电缆接头,宜在其两侧约1.0m开始的局部段,按留有备用量方式敷设电缆。

5.3.9 直埋敷设电缆采取特殊换土回填时,回填土的土质应对电缆外护层无腐蚀性。

8.3.4 保护管敷设

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

5.4.1 电缆保护管内壁应光滑无毛刺。其选择应满足使用条件所需的机械强度和耐久性,且应符合下列规定:

1. 需采用穿管抑制对控制电缆的电气干扰时,应采用钢管。

2. 交流单芯电缆以单根穿管时,不得采用未分隔磁路的钢管。

5.4.2 部分或全部露出在空气中的电缆保护管的选择,应符合下列规定:

1. 防火或机械性要求高的场所,宜采用钢质管,并应采取涂漆或镀锌包塑等适合环境耐久要求的防腐处理。

2. 满足工程条件自熄性要求时,可采用阻燃型塑料管。部分埋入混凝土中等有耐冲击的使用场所,塑料管应具备相应承压能力,且宜采用可挠性的塑料管。

5.4.3 地中埋设的保护管,应满足埋深下的抗压要求和耐环境腐蚀性的要求。管枕配置跨距,宜按管路底部未均匀夯实时满足抗弯矩条件确定;在通过不均匀沉降的回填土地段或地震活动频发地区,管路纵向连接应采用可挠式管接头。

同一通道的电缆数量较多时,宜采用排管。

5.4.4 保护管管径与穿过电缆数量的选择,应符合下列规定:

1. 每管宜只穿1根电缆。除发电厂、变电所等重要性场所外,对一台电动机所有回路或同一设备的低压电机所有回路,可在每管合穿不多于3根电力电缆或多根控制电缆。

2. 管的内径不宜小于电缆外径或多根电缆包络外径的1.5倍。排管的管孔内径不宜小

于75mm。

5.4.5　单根保护管使用时，宜符合下列规定：

1. 每根电缆保护管的弯头不宜超过3个，直角弯不宜超过2个。

2. 地中埋管距地面深度不宜小于0.5m；与铁路交叉处距路基不宜小于1.0m；距排水沟底不宜小于0.3m。

3. 并列管相互间宜留有不小于20mm的空隙。

5.4.6　使用排管时，应符合下列规定：

1. 管孔数宜按发展预留适当备用。

2. 导体工作温度相差大的电缆，宜分别配置于适当间距的不同排管组。

3. 管路顶部土壤覆盖厚度不宜小于0.5m。

4. 管路应置于经整平夯实土层且有足以保持连续平直的垫块上；纵向排水坡度不宜小于0.2%。

5. 管路纵向连接处的弯曲度，应符合牵引电缆时不致损伤的要求。

6. 管孔端口应采取防止损伤电缆的处理措施。

5.4.7　较长电缆管路中的下列部位，应设置工作井：

1. 电缆牵引张力限制的间距处。电缆穿管敷设时容许最大管长的计算方法，宜符合《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)附录H的规定。

2. 电缆分支、接头处。

3. 管路方向较大改变或电缆从排管转入直埋处。

4. 管路坡度较大且需防止电缆滑落的必要加强固定处。

8.3.5　电缆构筑物敷设

规范引用　《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

5.5.1　电缆构筑物的尺寸应按容纳的全部电缆确定，电缆的配置应无碍安全运行，满足敷设施工作业与维护巡视活动所需空间，并应符合下列规定：

1. 隧道内通道净高不宜小于1900mm；在较短的隧道中与其他沟道交叉的局部段，净高可降低，但不应小于1400mm。

2. 封闭式工作井的净高不宜小于1900mm。

3. 电缆夹层室的净高不得小于2000mm，但不宜大于3000mm。民用建筑的电缆夹层净高可稍降低，但在电缆配置上供人员活动的短距离空间不得小于1400mm。

4. 电缆沟、隧道或工作井内通道的净宽，不宜小于表8-20所列值。

表8-20　电缆沟、隧道或工作井内通道的净宽　(mm)

电缆支架配置方式	具有下列沟深的电缆沟			开挖式隧道或封闭式工作井	非开挖式隧道
	＜600	600～1000	＞1000		
两侧	300*	500	700	1000	800
单侧	300*	450	600	900	800

注：*浅沟内可不设置支架，无须有通道。

5.5.2　电缆支架、梯架或托盘的层间距离，应满足能方便地敷设电缆及其固定、安置接

头的要求,且在多根电缆同置于一层情况下,可更换或增设任一根电缆及其接头。

在采用电缆截面或接头外径尚非很大的情况下,符合上述要求的电缆支架、梯架或托盘的层间距离的最小值,可取表 8-21 所列数值。

表 8-21 电缆支架、梯架或托盘的层间距离的最小值 (mm)

电缆电压级和类型、敷设特征		普通支架、吊架	桥 架
控制电缆明敷		120	200
电力电缆明敷	6kV 及以下	150	250
	6～10kV 交联聚乙烯	200	300
	35kV 单芯	250	300
	35kV 三芯	300	350
	110～220kV,每层 1 根以上		
	330kV、500kV	350	400
电缆敷设于槽盒中		h+80	h+100

注:h 为槽盒外壳高度。

5.5.3 水平敷设时电缆支架的最上层、最下层布置尺寸,应符合下列规定:

1. 最上层支架距构筑物顶板或梁底的净距允许最小值,应满足电缆引接至上侧柜盘时的允许弯曲半径要求,且不宜小于表 8-21 所列数再加 80～150mm 的和值。

2. 最上层支架距其他设备的净距,不应小于 300mm;当无法满足时应设置防护板。

3. 最下层支架距地坪、沟道底部的最小净距,不宜小于表 8-22 所列值。

表 8-22 最下层支架距地坪、沟道底部的最小净距 (mm)

电缆敷设场所及其特征		垂直净距
电缆沟		50
隧道		100
电缆夹层	非通道处	200
	至少在一侧不小于 800mm 宽通道处	1400
公共廊道中电缆支架无围栏防护		1500
厂房内		2000
厂房外	无车辆通过	2500
	有车辆通过	4500

5.5.4 电缆构筑物应满足防止外部进水、渗水的要求,且应符合下列规定:

1. 对电缆沟或隧道底部低于地下水位、电缆沟与工业水管沟并行邻近、隧道与工业水管沟交叉时,宜加强电缆构筑物防水处理。

2. 电缆沟与工业水管沟交叉时,电缆沟宜位于工业水管沟的上方。

3. 在不影响厂区排水情况下,厂区户外电缆沟的沟壁宜稍高出地坪。

5.5.5 电缆构筑物应实现排水畅通,且符合下列规定:

1. 电缆沟、隧道的纵向排水坡度,不得小于 0.5%。

2. 沿排水方向适当距离宜设置集水井及其泄水系统,必要时应实施机械排水。

3. 隧道底部沿纵向宜设置泄水边沟。

5.5.6 电缆沟沟壁、盖板及其材质构成，应满足承受荷载和适合环境耐久的要求。

可开启的沟盖板的单块重量，不宜超过50kg。

5.5.7 电缆隧道、封闭式工作井应设置安全孔，安全孔的设置应符合下列规定：

1. 沿隧道纵长不应少于2个。在工业性厂区或变电所内隧道的安全孔间距不宜大于75m。在城镇公共区域开挖式隧道的安全孔间距不宜大于200m，非开挖式隧道的安全孔间距可适当增大，且宜根据隧道埋深和结合电缆敷设、通风、消防等综合确定。

隧道首末端无安全门时，宜在不大于5m处设置安全孔。

2. 对封闭式工作井，应在顶盖板处设置2个安全孔。位于公共区域的工作井，安全孔井盖的设置宜使非专业人员难以启动。

3. 安全孔至少应有一处适合安装机具和安置设备的搬运，供人出入的安全孔直径不得小于700mm。

4. 安全孔内应设置爬梯，通向安全门应设置步道或楼梯等设施。

5. 在公共区域露出地面的安全孔设置部位，宜避开公路、轻轨，其外观宜与周围环境景观相协调。

5.5.8 高落差地段的电缆隧道中，通道不宜呈阶梯状，且纵向坡度不宜大于15°，电缆接头不宜设置在倾斜位置上。

5.5.9 电缆隧道宜采取自然通风。当有较多电缆导体工作温度持续达到70℃以上或其他影响环境温度显著升高时，可装设机械通风，但机械通风装置应在一旦出现火灾时能可靠地自动关闭。

长距离的隧道，宜适当分区段实行相互独立的通风。

5.5.10 非拆卸式电缆竖井中，应有人员活动的空间，且宜符合下列规定：

1. 未超过5m高时，可设置爬梯，且活动空间不宜小于800mm×800mm。

2. 超过5m高时，宜设置楼梯，且每隔3m宜设置楼梯平台。

3. 超过20m高且电缆数量多或重要性要求较高时，可设置简易式电梯。

8.3.6 其他公用设施中敷设

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

5.6.1 通过木质结构的桥梁、码头、栈道等公用构筑物，用于重要的木质建筑设施的非矿物绝缘电缆时，应敷设在不燃性的保护管或槽盒中。

5.6.2 交通桥梁上、隧洞中或地下商场等公共设施的电缆，应具有防止电缆着火危害、避免外力损伤的可靠措施，并应符合下列规定：

1. 电缆不得明敷在通行的路面上。

2. 自容式充油电缆在沟槽内敷设时应埋砂，在保护管内敷设时，保护管应采用非导磁的不燃性材质的刚性保护管。

3. 非矿物绝缘电缆用在无封闭式通道时，宜敷设在不燃性的保护管或槽盒中。

5.6.3 公路、铁道桥梁上的电缆，应采取防止振动、热伸缩以及风力影响下金属套因长期应力疲劳导致断裂的措施，并应符合下列规定：

1. 桥墩两端和伸缩缝处，电缆应充分松弛。当桥梁中有挠角部位时，宜设置电缆迂回补偿装置。

2.35kV 以上大截面电缆宜采用蛇形敷设。

3. 经常受到振动的直线敷设电缆,应设置橡皮、砂袋等弹性衬垫。

8.3.7 水下敷设

规范引用 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)



5.7.1 水下电缆路径的选择,应满足电缆不易受机械性损伤、能实施可靠防护、敷设作业方便、经济合理等要求,且应符合下列规定:

1. 电缆宜敷设在河床稳定、流速较缓、岸边不易被冲刷、海底无石山或沉船等障碍、少有沉锚和拖网渔船活动的水域。

2. 电缆不宜敷设在码头、渡口、水工构筑物附近,且不宜敷设在疏浚挖泥区和规划筑港地带。

5.7.2 水下电缆不得悬空于水中,应埋置于水底。在通航水道等需防范外部机械力损伤的水域,电缆应埋置于水底适当深度的沟槽中,并应加以稳固覆盖保护;浅水区埋深不宜小于 0.5m,深水航道的埋深不宜小于 2m。

5.7.3 水下电缆严禁交叉、重叠。相邻的电缆应保持足够的安全间距,且应符合下列规定:

1. 主航道内,电缆间距不宜小于平均最大水深的 1.2 倍。引至岸边间距可适当缩小。

2. 在非通航的流速未超过 1m/s 的小河中,同回路单芯电缆间距不得小于 0.5m,不同回路电缆间距不得小于 5m。

3. 除上述情况外,应按水的流速和电缆埋深等因素确定。

5.7.4 水下的电缆与工业管道之间的水平距离,不宜小于 50m;受条件限制时,不得小于 15m。

5.7.5 水下电缆引至岸上的区段,应采取适合敷设条件的防护措施,且应符合下列规定:

1. 岸边稳定时,应采用保护管、沟槽敷设电缆,必要时可设置工作井连接,管沟下端宜置于最低水位下不小于 1m 处。

2. 岸边未稳定时,宜采取迂回形式敷设以预留适当备用长度的电缆。

5.7.6 水下电缆的两岸,应设置醒目的警告标志。

8.4 电缆防火与阻燃设计要求

8.4.1 电缆防火与阻燃措施

规范引用 《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)



7.0.1 对电缆可能着火蔓延导致严重事故的回路、易受外部影响波及火灾的电缆密集场所,应设置适当的阻火分隔,并应按工程重要性、火灾概率及其特点和经济合理等因素,采

取下列安全措施：

1. 实施阻燃防护或阻止延燃。

2. 选用具有阻燃性的电缆。

3. 实施耐火防护或选用具有耐火性的电缆。

4. 实施防火构造。

5. 增设自动报警与专用消防装置。

7.0.2 阻火分隔方式的选择，应符合下列规定：

1. 电缆构筑物中电缆引至电气柜、盘或控制屏、台的开孔部位，电缆贯穿隔墙、楼板的孔洞处，工作井中电缆管孔等均应实施阻火封堵。

2. 在隧道或重要回路的电缆沟中的下列部位，宜设置阻火墙（防火墙）。

1）公用主沟道的分支处。

2）多段配电装置对应的沟道适当分段处。

3）长距离沟道中相隔约200m或通风区段处。

4）至控制室或配电装置的沟道入口、厂区围墙处。

3. 在竖井中，宜每隔7m设置阻火隔层。

7.0.3 实施阻火分隔的技术特性，应符合下列规定：

1. 阻火封堵、阻火隔层的设置，应按电缆贯穿孔洞状况和条件，采用相适合的防火封堵材料或防火封堵组件。用于电力电缆时，宜使对载流量影响较小；用在楼板竖井孔处时，应能承受巡视人员的荷载。

阻火封堵材料的使用，对电缆不得有腐蚀和损害。

2. 阻火墙的构成，应采用适合电缆线路条件的阻火模块、防火封堵板材、阻火包等软质材料，且应在可能经受积水浸泡或鼠害作用下具有稳固性。

3. 除通向主控室、厂区围墙或长距离隧道中按通风区段分隔的阻火墙部位应设置防火门外，其他情况下，有防止窜燃措施时可不设防火门。防窜燃方式，可在阻火墙紧靠两侧不小于1m区段所有电缆上施加防火涂料、包带或设置挡火板等。

4. 阻火墙、阻火隔层和阻火封堵的构成方式，应按等效工程条件特征的标准试验，满足耐火极限不低于1h的耐火完整性、隔热性要求确定。

当阻火分隔的构成方式不为该材料标准试验的试件装配特征涵盖时，应进行专门的测试论证或采取补加措施；阻火分隔厚度不足时，可沿封堵侧紧靠的约1m区段电缆上施加防火涂料或包带。

7.0.4 非阻燃性电缆用于明敷时，应符合下列规定：

1. 在易受外因波及而着火的场所，宜对该范围内的电缆实施阻燃防护；对重要电缆回路，可在适当部位设置阻火段以实施阻止延燃。

阻燃防护或阻火段，可采取在电缆上施加防火涂料、包带；当电缆数量较多时，也可采用阻燃、耐火槽盒或阻火包等。

2. 在接头两侧电缆各约3m区段和该范围内邻近并行敷设的其他电缆上，宜采用防火包带实施阻止延燃。

7.0.5 在火灾概率较高、灾害影响较大的场所，明敷方式下电缆的选择，应符合下列规定：

1. 火力发电厂主厂房、输煤系统、燃油系统及其他易燃易爆场所，宜选用阻燃电缆。

2. 地下的客运或商业设施等人流密集环境中需增强防火安全的回路,宜选用具有低烟、低毒的阻燃电缆。

3. 其他重要的工业与公共设施供配电回路,当需要增强防火安全时,也可选用具有阻燃性或低烟、低毒的阻燃电缆。

8.4.2 电缆防火与阻燃设计

《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)

规范引用

7.0.6 阻燃电缆的选用,应符合下列规定:

1. 电缆多根密集配置时的阻燃性,应符合现行国家标准《电缆和光缆在火焰条件下的燃烧试验 第31部分:垂直安装的成束电线电缆火焰垂直蔓延试验 试验装置》(GB/T 18380.31—2008)的有关规定,并应根据电缆配置情况、所需防止灾难性事故和经济合理的原则,选择适合的阻燃性等级和类别。

2. 当确定该等级类阻燃电缆能满足工作条件下有效阻止延燃性时,可减少《电力工程电缆设计规范》(GB 50217—2007)第7.0.4条的要求。

3. 在同一通道中,不宜把非阻燃电缆与阻燃电缆并列配置。

7.0.7 在外部火势作用一定时间内需维持通电的下列场所或回路,明敷的电缆应实施耐火防护或选用具有耐火性的电缆。

1. 消防、报警、应急照明、断路器操作直流电源和发电机组紧急停机的保安电源等重要回路。

2. 计算机监控、双重化继电保护、保安电源或应急电源等双回路合用同一通道未相互隔离时的其中一个回路。

3. 油罐区、钢铁厂中可能有熔化金属溅落等易燃场所。

4. 火力发电厂水泵房、化学水处理、输煤系统、油泵房等重要电源的双回路供电回路合用同一电缆通道而未相互隔离时的其中一个回路。

5. 其他重要公共建筑设施等需有耐火要求的回路。

7.0.8 明敷电缆实施耐火防护方式,应符合下列规定:

1. 电缆数量较少时,可采用防火涂料、包带加于电缆上或把电缆穿于耐火管中。

2. 同一通道中电缆较多时,宜敷设于耐火槽盒内,且对电力电缆宜采用透气型式,在无易燃粉尘的环境可采用半封闭式,敷设在桥架上的电缆防护区段不长时,也可采用阻火包。

7.0.9 耐火电缆用于发电厂等明敷有多根电缆配置中,或位于油管、有熔化金属溅落等可能波及场所时,其耐火性应符合现行国家标准。

7.0.10 在油罐区、重要木结构公共建筑、高温场所等其他耐火要求高且敷设安装和经济合理时,可采用矿物绝缘电缆。

7.0.11 自容式充油电缆明敷在公用廊道、客运隧洞、桥梁等要求实施防火处理时,可采取埋砂敷设。

7.0.12 靠近高压电流、电压互感器等含油设备的电缆沟,该区段沟盖板宜密封。

7.0.13 在安全性要求较高的电缆密集场所或封闭通道中,宜配备适于环境的可靠动作的火灾自动探测报警装置。

明敷充油电缆的供油系统,宜设置反映喷油状态的火灾自动报警和闭锁装置。

7.0.14　在地下公共设施的电缆密集部位、多回充油电缆的终端设置处等安全性要求较高的场所，可装设水喷雾灭火等专用消防设施。

7.0.15　电缆用防火阻燃材料产品的选用，应符合下列规定：

1. 阻燃性材料应符合现行国家标准《防火封堵材料》(GB 23864—2009)的有关规定。

2. 阻燃包带应分别符合现行国家标准《电缆用阻燃包带》(GA 478—2004)的有关规定。

3. 用于阻止延燃的材料产品，除上述第2款外，尚应按等效工程使用条件的燃烧试验满足有效的自熄性。

4. 用于耐火防护的材料产品，应按等效工程使用条件的燃烧试验满足耐火极限不低于1h的要求，且耐火温度不宜低于1000℃。

5. 用于电力电缆的阻燃、耐火槽盒，应确定电缆载流能力或有关参数。

6. 采用的材料产品应适于工程环境，并应具有耐久可靠性。

8.5　架空线路设计要求

8.5.1　一般要求

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

架空配电线路敷设的一般要求：

(1)架空线路应沿道路平行敷设，宜避免通过各种起重机频繁活动地区和各种露天堆场。

(2)应尽可能减少与其他设施的交叉和跨越建筑物。

(3)接近有爆炸物、易燃物和可燃气(液)体的厂房、仓库、储罐等设施，应符合《爆炸危险环境电力设计规范》(GB 50058—2014)。

(4)在离海岸5km以内的沿海地区或工业区，视腐蚀性气体和尘埃产生腐蚀作用的严重程度，选用不同防腐性能的防腐型钢芯铝绞线。

(5)架空线路不应采用单股的铝线或铝合金线，高压线路不应采用单股铜线。

架空线路导线截面不应小于表8-23所列数值。

表8-23　导线最小截面　(mm^2)

导线种类	35kV线路	3～10kV线路		3kV以下线路
		居民区	非居民区	
铝绞线及铝合金线	35	35	25	16
钢芯铝绞线	35	25	16	16
铜线		16	16	10(线直径3.2mm)

注：①居民区指居住小区、厂矿地区、港口、码头、火车站、城镇及乡村等人口密集地区。

②非居民区指居民区以外的其他地区。此外，虽有车辆、行人或农业机械到达，但未建房屋或房屋稀少地区亦属非居民区。

(6)架空线路的导线与地面的距离，在最大计算弧垂情况下，不应小于表8-24所列

数值。

表 8-24 导线与地面的最小距离 (m)

线路经过地区	线路电压/kV		
	35	3～10	＜3
居民区	7.0	6.5	6.0
非居民区	6.0	5.5	5.0
交通困难地区	5.0	4.5	4.0

(7)架空线路的导线与建筑物之间的距离,不应小于表 8-25 所列数值。

表 8-25 导线与建筑物间的最小距离 (m)

线路经过地区	线路电压/kV		
	35	3～10	＜3
导线跨越建筑物垂直距离(最大计算弧垂)	4.0	3.0	2.5
边导线与建筑物水平距离(最大计算风偏)	3.0	1.5	1.0

注:架空线路不应跨越屋顶为易燃材料的建筑物,对其他建筑物也应尽量不跨越。

(8)架空线路的导线与街道行道树间的距离,不应小于表 8-26 所列数值。

表 8-26 导线与街道行道树间的最小距离 (m)

线路电压/kV	35	3～10	＜3
最大计算弧垂情况下的垂直距离	3.0	1.5	1.0
最大计算风偏情况下的水平距离	3.5	2.0	1.0

(9)3～10kV 高压接户线的截面,不应小于下列数值:

铝绞线为 25mm^2;

铜绞线为 16mm^2。

(10)1kV 及以下低压接户线应采用绝缘导线,导线截面应根据允许载流量选择,但不应小于表 8-27 所列数值。

表 8-27 低压接户线的最小截面

敷设方式	档距/m	最小截面/mm^2	
		绝缘铝线	绝缘铜线
自电杆引下	＜10	16	6.0
	10～25	16	6.0
沿墙敷设	≤6	16	6.0

注:接户线的档距不宜大于 25m,如超过宜增设接户杆。

(11)接户线的对地距离不应小于下列数值:

3～10kV 高压接户线为 4.5m;

1kV 及以下低压接户线为 2.5m。

(12)跨越道路街道的低压接户线,至路面中心的垂直距离,不应小于下列数值:

通车街道为 6m;

通车困难的街道、人行道为 3.5m;

胡同(里弄、巷)为3.5m。

8.5.2　导线的排列间隔

规范引用　《66kV及以下架空电力线路设计规范》(GB 50061—2010)



7.0.2　35～66kV架空电力线路单回路杆塔的导线可采用三角排列或水平排列，多回路杆塔的导线可采用鼓型、伞型或双三角型排列；3～10kV单回路杆塔的导线可采用三角排列或水平排列，多回路杆塔的导线可采用三角和水平混合排列或垂直排列；3kV以下杆塔的导线可采用水平排列或垂直排列。

7.0.3-3　采用绝缘导线的杆塔，其最小线间距离可结合地区经验确定。380V及以下沿墙敷设的绝缘导线，当档距不大于20m时，其线间距离不宜小于0.2m；3kV以下架空电力线路，靠近电杆的两导线间的水平距离不应小于0.5m；10kV及以下杆塔的最小线间距离，应符合表8-28的规定。

表8-28　10kV及以下杆塔最小线间距离　(m)

线路电压	线间距离								
	档距								
	40及以下	50	60	70	80	90	100	110	120
3～10kV	0.60	0.65	0.70	0.75	0.85	0.90	1.00	1.05	1.15
3kV以下	0.30	0.40	0.45	0.50	—	—	—	—	—

7.0.4　采用绝缘导线的多回路杆塔，横担间最小垂直距离，可结合地区运行经验确定。10kV及以下多回路杆塔和不同电压等级同杆架设的杆塔，横担间最小垂直距离应符合表8-29的规定。

表8-29　横担间最小垂直距离　(m)

组合方式	直线杆	转角或分支杆
3～10kV与3～10kV	0.8	0.45/0.6
3～10kV与3kV以下	1.2	1.0
3kV以下与3kV以下	0.6	0.3

注：表中0.45/0.6是指距上面的横担0.45m，距下面的横担0.6m。

7.0.6　采用绝缘导线的杆塔，不同回路的导线间最小水平距离可结合地区运行经验确定；3～66kV多回路杆塔，不同回路的导线间最小距离应符合表8-30的规定。

表8-30　不同回路的导线间最小距离　(m)

线路电压	3～10kV	35kV	66kV
线间距离	1.0	3.0	3.5

8.5.3 绝缘子选择

规范引用 《66kV及以下架空电力线路设计规范》(GB 50061—2010)

5.3.1 绝缘子和金具的机械强度应按下式验算：

$$KF<F_u \tag{8-4}$$

式中 K——机械强度安全系数；

F——设计荷载(kN)；

F_u——悬式绝缘子的机械破坏荷载或针式绝缘子、瓷横担绝缘子的受弯破坏荷载或蝶式绝缘子、金具的破坏荷载(kN)。

5.3.2 绝缘子和金具的安装设计可采用安全系数设计法。绝缘子及金具的机械强度安全系数应符合表8-31的规定。

表8-31 绝缘子及金具的机械强度安全系数

类型	安全系数		
	运行工况	断线工况	断联工况
悬式绝缘子	2.7	1.8	1.5
针式绝缘子	2.5	1.5	1.5
蝶式绝缘子	2.5	1.5	1.5
瓷横担绝缘子	3.0	2.0	—
合成绝缘子	3.0	1.8	1.5
金具	2.5	1.5	1.5

9 110kV及以下变配电所控制、测量、继电保护和自动装置

9.1 变配电所控制、测量和信号设计要求

9.1.1 变配电所控制、测量和信号设计原则

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)



(1)控制,信号回路一般分为控制保护回路、合闸回路,事故信号回路、预告信号回路、隔离开关与断路器闭锁回路等。

(2)断路器的控制、信号回路电源取决于操动机构的型式和控制电源的种类。断路器一般采用电磁或弹簧操动机构。弹簧操动机构的控制电源可用直流也可用交流,电磁操动机构的控制电源要用直流。

(3)断路器的控制、信号回路接线可采用灯光监视方式或音响监视方式。工业企业和民用建筑配电所一般采用灯光监视的接线方式。

(4)断路器的控制、信号回路的接线要求:

1)能监视电源保护装置(熔断器或低压断路器)及跳、合闸回路的完整性(在合闸线圈及合闸接触器线圈上不允许并接电阻)。

2)应能指示断路器合闸与跳闸的位置状态,自动合闸或跳闸时应有明显信号。

3)有防止断路器跳跃(简称“防跳”)的闭锁装置。

4)合闸或跳闸完成后应使命令脉冲自动解除。

5)接线应简单可靠,使用电缆芯最少。

(5)断路器的事故跳闸信号回路,可采用不对应原理的接线。当断路器为电磁或弹簧操动时,利用控制开关与操动机构辅助触点构成不对应接线。

(6)各断路器应有事故跳闸信号,事故信号能使中央信号装置发出音响及灯光信号:用灯光(平光或闪光)表示本回路发生事故,并用信号继电器直接指示故障的性质。

(7)断路器的控制、信号回路根据需要可采用闪光信号装置,用以与事故信号和自动装置配合,指示事故跳闸和自动投入的回路。绿灯闪光表示断路器自动跳闸,红灯闪光表示断路器自动合闸(通常有自动投入装置时,才将红灯接入闪光)。

当断路器的转换开关采用 LW12、LW2 型时,要求将红灯也接入闪光信号回路,使闪光

信号还能起到对位作用。转换开关在“预备跳闸”位置时红灯闪光,转换开关在“预备合闸”位置时绿灯闪光。

(8)有可能出现不正常情况的线路和回路,应有预告信号。预告信号应能使中央信号装置发出音响及灯光信号,并用信号继电器直接指示故障的性质、发生故障的线路及回路。

预告信号一般包括下列内容,可按需要装设:

1)变压器过负荷。

2)变压器温度过高(油浸变压器为油温过高)。

3)变压器温度信号装置电源故障。

4)变压器轻瓦斯动作(油浸变压器)。

5)变压器压力释放装置动作。

6)自动装置动作。

7)控制回路内故障(熔断器熔丝熔断或自动开关跳闸)。

8)保护回路断线或跳、合闸回路断线。

9)交流系统绝缘降低(高压中性点不接地系统)。

10)直流系统绝缘降低。

11)当采用微机监控综合自动化系统时,应在变电所内设置一套微机中央信号监控装置。此装置能完成全站事故信号与预告信号报警,同时可将全站各种信息传送至监控主机。

装置测量部分可完成直流系统电压及控制回路电流、变压器油温及环境温度的测量。

装置监视部分能实现装置故障报警、直流系统接地报警、直流电压过高报警、直流电压过低报警、预告音响报警、事故音响报警及变压器油温高报警。

9.1.2 变配电所电气测量及电能计量设计要求

9.1.2.1 一般规定

《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)

3.1.1 电测量装置的配置应正确反映电力装置的电气运行参数和绝缘状况。

3.1.2 电测量装置宜包括计算机监控系统的测量部分、常用电测量仪表,以及其他综合装置中的测量部分。

3.1.3 电测量装置可采用直接仪表测量、一次仪表测量或二次仪表测量。

3.1.4 电测量装置的准确度要求不应低于表 9-1 的规定。

表 9-1 电测量装置的准确度要求

电测量装置类型名称		准确度/级
计算机监控系统的测量部分(交流采样)		误差不大于 0.5%,其中电网频率测量误差不大于 0.01Hz
常用电测量仪表、综合装置中的测量部分	指针式交流仪表	1.5
	指针式直流仪表	1.0(经变送器二次测量)
	指针式直流仪表	1.5
	数字式仪表	0.5
	记录型仪表	应满足测量对象的准确度要求

3.1.5　交流回路指示仪表的综合准确度不应低于2.5级，直流回路指示仪表的综合准确度不应低于1.5级，接于电测量变送器二次侧仪表的准确度不应低于1.0级。用于电测量装置的电流、电压互感器及附件配件的准确度不应低于表9-2的规定。

表9-2　电测量装置电流、电压互感器及附件、配件的准确度要求　（级）

电测量装置准确度	附件、配件准确度			
	电流、电压互感器	变送器	分流器	中间互感器
0.5	0.5	0.5	0.5	0.2
1.0	0.5	0.5	0.5	0.2
1.5	1.0	0.5	0.5	0.2
2.5	1.0	0.5	0.5	0.5

3.1.6　指针式测量仪表测量范围的选择，宜保证电力设备额定值指示在仪表标度尺的2/3处。有可能过负荷运行的电力设备和回路，测量仪表宜选用过负荷仪表。

3.1.7　多个同类型电力设备和回路的电测量可采用选择测量方式。

3.1.8　经变送器的二次测量，其满刻度值应与变送器的校准值相匹配，可按《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)附录A和附录B计算。

3.1.9　双向电流的直流回路和双向功率的交流回路，应采用具有双向标度的电流表和功率表。具有极性的直流电流和电压回路，应采用具有极性的仪表。

3.1.10　重载启动的电动机和有可能出现短时冲击电流的电力设备和回路，宜采用具有过负荷标度尺的电流表。

3.1.11　发电厂和变(配)电所装设远动遥测、计算机监控系统，且采用直流系统采样时，二次测量仪表、计算机和远动遥测系统宜共用一套变送器。

3.1.12　励磁回路仪表的上限值不得低于额定工况的1.3倍，仪表的综合误差不得超过1.5%。

3.1.13　无功补偿装置的测量仪表量程应满足设备允许通过的最大电流和允许耐受的最高电压的要求。并联电容器组的电流测量应按并联电容器组持续通过的电流为其额定电流的1.35倍设计。

3.1.14　计算机监控系统中的测量部分、综合装置中的测量部分，当其精度满足要求时，可取代相应的常用点测量仪表。

3.1.15　直接仪表测量中配置的点测量装置，应满足相应一次回路动热稳定的要求。

4.1.1　电能计量装置应满足发电、供电、用电准确计量的要求。

4.1.2　电能计量装置应按其所计量对象的重要程度和计量电能的多少分类，并应符合下列规定：

1. 月平均用电量5000MW·h及以上或变压器容量为10MV·A及以上的高压计费户、200MW及以上发电机或发电/电动机、发电企业上网电量、电网经营企业之间的电量变换点，以及省级电网经营企业与其供电企业的供电关口计量点的电能计量装置，应为Ⅰ类电能计量装置。

2. 月平均用电量1000MW·h及以上或变压器容量为2MV·A及以上的高压计费用户、100MW及以上发电机或发电/电动机，以及供电企业之间的电量交换点的电能计量装置，应为Ⅱ类电能计量装置。

3. 月平均用电量 100MW·h 以上或负荷容量为 315kV·A 及以上的计费用户、100MW 以下发电机、发电企业厂(站)用电量、供电企业内部用于承包考核的计量点、考核有功电量平衡的 110kV 及以上电压等级的送电线路,以及无功补偿装置的电能计量装置,应为Ⅲ类电能计量装置。

4. 负荷容量为 315kV·A 以下的计费用户、发供电企业内部经济技术指标分析,以及考核用的电能计量装置,应为Ⅳ类电能计量装置。

5. 单相电力用户计费用电能计量装置,应为Ⅴ类电能计量装置。

4.1.3 电能计量装置的准确度不应低于表 9-3 的规定。

表 9-3 电能计量装置的准确度要求

电能计量装置类别	准确度/级			
	有功电能表	无功电能表	电压互感器	电流互感器
Ⅰ类	0.2S	2.0	0.2	0.2S 或 0.2
Ⅱ类	0.5S	2.0	0.2	0.2S 或 0.2
Ⅲ类	1.0	2.0	0.5	0.5S
Ⅳ类	2.0	2.0	0.5	0.5S
Ⅴ类	2.0	—	—	0.5S

注:0.2 级电流互感器仅用于发电机计量回路。

4.1.4 电能表的电流和电压回路应分别装设电流和电压专用试验接线盒。

4.1.5 执行功率因数调整电费的用户,应装设具有计量有功电能、感性和容性无功电能功能的电能计量装置;按最大需量计收基本电费的用户应装设具有最大需量功能的电能表;实行分时电价的用户应装设复费率电能表或多功能电能表。

4.1.6 具有正向和反向输电的线路计量点,应装设计量正向和反向有功电能及四象限无功电能的电能表。

4.1.7 进相和滞相运行的发电机回路,应分别计量进相和滞相的无功电能。

4.1.8 中性点有效接地系统的电能计量装置应采用三相四线的接线方式;中性点非有效接地系统的电能计量装置宜采用三相三线的接线方式。经消弧线圈等接地的计费用户且年平均中性点电流大于 0.1%额定电流时,应采用三相四线的接线方式;照明变压器、照明与动力共用的变压器、照明负荷占 15%及以上的动力与照明混合供电的 1200V 及以上的供电线路,以及三相负荷不平衡率大于 10%的 1200V 及以上的电力用户线路,应采用三相四线的接线方式。

4.1.9 应选用过载 4 倍及以上的电能表。经电流互感器接入的电能表,标定电流不宜超过电流互感器额定二次电流的 30%(对 S 级为 20%),额定最大电流宜为额定二次电流的 120%。直接接入式电能表的标定电流应按正常运行负荷电流的 30%选择。

4.1.10 当发电厂和变(配)电所装设远动遥测和计算机监控时,电能计量、计算机和远动遥测宜共用一套电能表。电能表应具有数据输出或脉冲输出功能,也可同时具有两种输出功能。电能表脉冲输出参数应满足计算机和远动遥测的要求,数据输出的通信规约应符合国家现行标准《多功能电能表通信协议》(DL/T 645—2007)的有关规定。

4.1.11 发电电能关口计量点和省级及以上电网公司之间电能关口计量点,应装设两套准确度相同的主、副电能表。发电企业上网线路的对侧应设置备用和考核计量点,并应配

置与对侧相同规格、等级的电能计量装置。

4.1.12　Ⅰ类电能计量装置应在关口点根据进线电源设置单独的计量装置。

4.1.13　低压供电且负荷电流为 50A 及以下时，宜采用直接接入式电能表；负荷低压供电且电流为 50A 以上时，宜采用经电流互感器接入式的接线方式。

4.1.14　Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类电能计量装置应具有电压失压计时功能。

9.1.2.2　测量

规范引用　**《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)**

3.2　电流测量

3.2.1　下列回路，应测量交流电流：

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 双绕组主变压器的一侧，三绕组主变压器的三侧，自耦变压器的三侧，自耦变压器公共绕组回路。

3. 双绕组厂(所)用变压器的一侧及各分支回路，三绕组厂(所)用变压器的三侧，发电机励磁变压器的高压侧。

4. 柴油发电机接至低压保安段进线及交流不停电电源的进线回路。

5. 1200V 及以上的线路，1200V 以下的供电、配电和用电网络的总干线路。

6. 220kV 及以上电压等级断路器 3/2 接线、4/3 接线和角型接线的各断路器回路。

7. 母线联络断路器、母线分段断路器、旁路断路器和桥断路器回路。

8. 330kV 及以上电压等级并联电抗器组及其中性点小电抗，10～66kV 低压并联电抗器和并联电容器回路。

9. 50kV·A 及以上的照明变压器和消弧线圈回路。

10. 55kW 及以上的电动机，55kW 以下保安用电动机。

3.2.2　下列回路除应符合《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)第 3.2.1 条的规定外，尚应测量三相交流电流：

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 110kV 及以上电压等级输电线路和变压器回路。

3. 330kV 及以上电压等级并联电抗器组，变压器低压侧装有无功补偿装置的总回路。

4. 照明变压器、照明与动力共用的变压器，照明负荷占 15%及以上的动力与照明混合供电的 3kV 以下的线路。

5. 三相负荷不平衡率大于 10%的 1200V 及以上的电力用户线路，三相负荷不平衡率大于 15%的 1200V 以下的供电线路。

3.2.3　下列回路，宜测量负序电流，且负序电流测量仪表的准确度不应低于 1.0 级。

1. 承受负序电流过负荷能力 A 值小于 10 的大容量汽轮发电机。

2. 负荷不平衡率超过额定电流 10%的发电机。

3. 负荷不平衡率超过 0.1 倍额定电流的 1200V 及以上线路。

3.2.4　下列回路，应测量直流电流：

1. 同步发电机、发电/电动机和同步电动机的励磁回路，自动及手动调整励磁的输出回路。

2. 直流发电机及其励磁回路,直流电动机及其励磁回路。

3. 蓄电池组的输出回路,充电及浮充电整流装置的输出回路。

4. 重要电力整流装置的直流输出回路。

3.2.5 整流装置的电流测量宜包含谐波监测。

3.3 电压测量和绝缘监测

3.3.1 下列回路,应测量交流电压:

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 各电压等级的交流主母线。

3. 电力系统联络线(线路侧)。

4. 配置电压互感器的其他回路。

3.3.2 电力系统电压质量监视点和容量为50MW及以上的汽轮发电机电压母线,应测量并记录交流电压。

3.3.3 110kV及以上中性点有效接地系统的主母线,变压器回路应测量三个线电压,66kV及以下中性点有效接地系统的主母线、变压器回路可只测量一个线电压。单电压互感器接线的主母线、变压器回路可只测量单相电压或一个线电压。

3.3.4 下列回路,应检测交流系统的绝缘:

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 中性点非有效接地系统的母线和回路。

3.3.5 中性点非有效接地系统的主母线,宜测量母线的一个线电压和监测绝缘的三个相电压。

3.3.6 发电机定子回路的绝缘监测,可采用测量发电机电压互感器辅助二次绕组的零序电压方式,也可采用测量发电机的三个相电压方式。

3.3.7 下列回路,应测量直流电压:

1. 同步发电机和发电/电动机的励磁回路,相应的自动及手动调整励磁的输出回路。

2. 同步电动机的励磁回路。

3. 直流发电机回路。

4. 直流系统的主母线,蓄电池组,充电及浮充电整流装置的直流输出回路。

5. 重要电力整流装置的输出回路。

3.3.8 下列回路,应监测直流系统的绝缘:

1. 同步电机和发电/电动机的励磁回路。

2. 同步电动机的励磁回路。

3. 直流系统的主母线和重要的直流回路。

4. 重要电力整流装置的输出回路。

3.3.9 直流系统应装设直接测量绝缘电阻值的绝缘监测装置,其测量准确度不应低于1.5级。

3.4 功率测量

3.4.1 下列回路,应测量有功功率:

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 双绕组主变压器的一侧,三绕组主变压器的三侧,以及自耦变压器的三侧。

3.(所)用变压器;双绕组变压器的高压侧,三绕组变压器的三侧。

4.3kV 及以上输配电线路和用电线路。

5. 旁路断路器、母联(或分段)兼旁路断路器回路和 35kV 及以上的外桥断路器回路。

6. 发电机励磁变压器高压侧。

3.4.2　同步发电机和发电/电动机的机旁控制屏应测量发电机有功功率。

3.4.3　双向送、受电运行的输配电线路、水轮发电机、发电/电动机和主变压器等设备,应测量双方向有功功率。

3.4.4　下列回路,应测量无功功率:

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 双绕组主变压器的一侧,三绕组主变压器的三侧,以及自耦变压器的三侧。

3.3kV 及以上的输配电线路和用电线路。

4. 旁路断路器、母联(或分段)兼旁路断路器回路和 35kV 及以上的外桥断路器回路。

5.330kV 以上并联电抗器。

6.10～66kV 低压并联电容器和电抗器组。

7. 发电机励磁变压器高压侧。

3.4.5　下列回路,应测量双方向的无功功率;

1. 具有进相、滞相运行要求的同步发电机、发电/电动机。

2. 主变压器低压侧装设并联电容器和电抗器的总回路。

3.10kV 及以上用电线路。

3.4.6　发电机、发电/电动机宜测量功率因数。

3.5　频率测量

3.5.1　频率测量范围应为 45～55Hz,准确度不应低于 0.2 级。

3.5.2　下列回路,应测量频率:

1. 接有发电机变压器组的各段母线。

2. 发电机。

3. 电网有可能解列运行的各段母线。

3.5.3　同步发电机和发电/电动机的机旁控制屏上,应测量发电机的频率。

3.6　发电厂(变电所)公用电气测量

3.6.1　总装机容量为 300MW 及以上的火力发电厂,以及调频或调峰的火力发电厂,宜监视并记录下列电气参数:

1. 主控制室(网络控制室)和单元控制室应监视主电网的频率。调频或调峰发电,尚应记录主电网的频率。

2. 调频或调峰发电厂,当采用主控方式时,热控屏上应监视主电网的频率。

3. 主控制室(网络控制室)应监视并记录全厂总和有功功率。主控制室控制的热控屏上尚应监视全厂总和有功功率。

4. 主控制室(网络控制室)应监视全厂厂用电率。

3.6.2　总装机容量为 300MW 及以上的水力发电厂,以及调频或调峰的水力发电厂,中央控制室宜监规并记录下列电气参数:

1. 主电网的频率。

2. 全厂总和有功功率。

3.6.3 220kV及以上的系统枢纽变电所,主控制室宜监视主电网的频率。

3.6.4 当采用常测方式时,发电厂(变电所)公用电气测量仪表宜采用数字式仪表。

3.7 静止补偿及串联补偿装置的测量

3.7.1 静止补偿装置宜测量并记录下列参数:

1. 一个系统参考线电压。

2. 静止补偿装置所接母线的一个线电压。

3. 静止补偿装置用中间变压器高压侧的三相电流。

4. 分组并联电容器和电抗器回路的单相电流和无功功率。

5. 分组晶闸管控制电抗器和晶闸管投切电容器回路的单相电流和无功功率。

6. 分组谐波滤波器组回路的单相电流和无功功率。

7. 总回路的三相电流、无功功率和无功电能。

8. 当总回路下装设并联电容器和电抗器时,应测量双方向的无功功率,并应分别计量进相、滞相运行的无功电能。

3.7.2 固定串联补偿装置宜测量并记录下列参数:

1. 串补线路电流。

2. 电容器电流。

3. 电容器不平衡电流。

4. 金属氧化物避雷器电流。

5. 金属氧化物避雷器温度。

6. 旁路断路器电流。

7. 串补无功功率。

3.7.3 可控串联补偿装置宜测量并记录下列参数:

1. 串补线路电流。

2. 串补线路电压。

3. 电容器电压。

4. 电容器不平衡电流。

5. 金属氧化物避雷器电流。

6. 金属氧化物避雷器温度。

7. 旁路断路器电流。

8. 晶闸管阀电流。

9. 触发角。

10. 等值容抗。

11. 补偿度。

12. 串补无功功率。

3.8 公用电网谐波的监测

3.8.1 公用电网谐波的监测可采用连续监测或专项监测。

3.8.2 在谐波监测点,宜装设谐波电压和谐波电流测量仪表。谐波监测点应结合谐波源的分布布置,并应覆盖主网及全部供电电压等级。

3.8.3　下列回路，宜设置谐波监测点：

1. 系统指定谐波监测点(母线)。

2. 10～66kV 无功补偿装置所连接母线的谐波电压。

3. 向谐波源用户供电的线路送电端。

4. 一条供电线路上接有两个及以上不同部门的谐波源用户时，谐波源用户受电端。

5. 特殊用户所要求的回路。

6. 其他有必要监测的回路。

3.8.4　用于谐波测量的电流互感器和电压互感器的准确度不宜低于 0.5 级。

3.8.5　谐波测量的次数不应少于 2～15 次。

3.8.6　谐波电流和电压的测量可采用数字式仪表，测量仪表的准确度不宜低于 1.0 级。

4.2　有功、无功电能的计量

4.2.1　下列回路，应计量有功电能：

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 双绕组主变压器的一侧，三绕组主变压器的三侧，以及自耦变压器的三侧。

3. 1200V 及以上的线路，1200V 以下网络的总干线路。

4. 旁路断路器、母联(或分段)兼旁路断路器回路。

5. 双绕组厂(所)用变压器的高压侧，三绕组厂(所)用变压器的三侧。

6. 厂用、所用电源线路及厂外用电线路。

7. 外接保安电源的进线回路。

8. 3kV 及以上高压电动机回路。

4.2.2　下列回路，应计量无功电能；

1. 同步发电机和发电/电动机的定子回路。

2. 双绕组主变压器的一侧，三绕组主变压器的三侧，以及自耦变压器的三侧。

3. 10kV 及以上的线路。

4. 旁路断路器、母联(或分段)兼旁路断路器回路。

5. 330kV 及以上并联电抗器。

6. 66kV 及以下低压并联电容器和并联电抗器组。

9.1.2.3　计算机监控系统的测量

规范引用　**《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)**

6.1　一般规定

6.1.1　计算机监控系统数据采集应符合《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)第 3～5 章的有关规定，计算机监控系统采集的模拟量及电能数据量可按《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)附录 C 配置。

6.1.2　电气参数可通过计算机监控系统进行监测和记录，可不单独装设记录型仪表。

6.1.3　当采用计算机监控系统时，就地厂(所)用配电盘上应保留必要的测量表计或监测单元。

6.2 计算机监控系统的数据采集

6.2.1 计算机监控系统的电测量数据采集应包括模拟量和电能数据量。

6.2.2 模拟量的采集宜采用交流采样,也可采用直流采样。

6.2.3 交流采样的模拟量可根据运行需要适当增加电气计算量。

6.3 计算机监控时常用电测量仪表。

6.3.1 计算机监控不设模拟屏时,控制室常用电测量仪表宜取消。计算机监控设模拟屏上的常用电测量仪表应精简,并可采用计算机驱动的数字式仪表。

6.3.2 当发电厂采用计算机监控系统时,机组后备屏或机旁屏上发电机部分的常用电测量仪表可按《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)附录C装设。

9.1.2.4 仪表装置安装条件

《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)

规范引用

10.1.1 发电厂和变(配)电所的屏、台、柜上的电气仪表装置的安装,应满足仪表正常工作运行监视、抄表和现场调试的要求。

10.0.2 测量仪表装置宜采用垂直安装,表中心线向各方向的倾斜角度不应大于1°,测量仪表装置的安装高度应符合下列要求:

1. 常用电测量仪表应为1200～2000mm。

2. 电能表室内应为800～1800mm,室外不应小于1200mm;计量箱底边距地面室内不应小于1200mm,室外不应小于1600mm。

3. 变送器应为800～1800mm。

10.0.3 控制屏(台)宜选用后设门的屏(台)式结构,电能表屏、变送器屏宜选用前后设门的柜式结构。一般屏的尺寸应为2200mm×800m×60mm(高×宽×深)。

10.0.4 所有屏、台、柜内的电流回路端子排应采用电流试验端子,连接导线宜采用铜芯绝缘软导线,电流回路导线截面不应小于2.5mm^2,自压回路不应小于1.5mm^2。

10.0.5 电能表屏(柜)内试验端子盒宜布置于屏(柜)的正面。

9.1.3 变配电所测量用电流、电压互感器的选择

9.1.3.1 电流互感器

《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)

规范引用

8.1.1 用于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类贸易结算的电能计量装置,应按计量点设置专用电流互感器或专用二次绕组。

8.1.2 电流互感器额定一次电流的选择,宜满足正常运行的实际负荷电流达到额定值的60%,且不应小于30%(S级为20%)的要求,也可选用较小变比或二次绕组带抽头的电流互感器。电流互感器额定二次负荷的功率因数应为0.8～1.0。

8.1.3 1%～120%额定电流回路,宜选用S级的电流互感器。

8.1.4 电流互感器的额定二次电流可选用5A或1A。110kV及以上电压等级电流互感器宜选用1A。

8.1.5　电流互感器二次绕组中所接入的负荷，应保证在额定二次负荷的25%～100%。

9.1.1　电流互感器的二次绕组接线，宜先接常用电测量仪表，后接测控装置。

9.1.2　电流互感器二次绕组应采取防止开路的保护措施。

9.1.3　测量表计和继电保护不宜共用电流互感器的同一个二次绕组。如受条件限制，仪表和保护共用一个二次绕组时，宜采取下列措施：

1. 保护装置接在仪表前，中间加装电流试验部件。

2. 中间电流互感器的技术特性应满足仪表和保护的要求。

9.1.4　电流互感器的二次绕组的中性点应有一个接地点。用于测量的二次绕组应在配电装置处接地。和电流的两个二次绕组的中性点应并接和一点接地，接地点应在和电流处。

9.1.5　电流互感器二次电流回路的电缆芯线截面，应按电流互感器的额定二次负荷计算，5A的计量回路不宜小于4mm²，1A的计量回路不宜小于2.5mm²，其他测量回路不宜小于2.5mm²。

9.1.6　三相三线制接线的电能计量装置，其两台电流互感器二次绕组与电能表间宜采用四线连接。三相四线制接线的电能计量装置，其三台电流互感器二次绕组与电能表间宜采用六线连接。

9.1.7　用于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类贸易结算的电能计量装置专用的电流互感器或二次绕组，以及相应的二次回路不应接入与电能计量无关的设备。

9.1.3.2　电压互感器

规范引用　《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)



8.2.1　用于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类贸易结算的电能计量装置，应按计量点设置专用电压互感器或专用二次绕组。

8.2.2　电压互感器二次绕组中所接入的负荷，应保证在额定二次负荷的25%～100%，实际二次负荷的功率因数应与额定二次负荷功率因数相接近。

9.2.1　用于测量的电压互感器的二次回路允许电压降，应符合下列规定：

1. 计算机监控系统中的测量部分、常用电测量仪表和综合装置的测量部分，二次回路电压降不应大于额定一次电压的3%。

2. Ⅰ、Ⅱ类电能计量装置的二次回路电压降不应大于额定二次电压的0.2%。

3. 其他电能计量装置的二次回路电压降不应大于额定二次电压的0.5%。

9.2.2　35kV及以上电压等级单独设置专用电压互感器或专用二次绕组时，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类电能计量装置的电压回路宜经电压互感器端子箱引接至试验接线盒。

9.2.3　用于贸易结算的电能计量装置的二次电压回路，35kV及以下不宜接入隔离开关辅助接点，且不宜装设熔断器或自动开关，35kV以上不宜接入隔离开关辅助接点，但可装设快速熔断器或自动开关，控制室应具有该电压回路完整性的监视信号。

9.2.4　电压互感器的二次绕组应有一个接地点。对于中性点有效接地或非有效接地系统，星形接线的电压互感器主二次绕组应采用中性点一点接地；对于中性点非有效接地系统，V形接线的电压互感器主二次绕组应采用B相一点接地。

9.2.5 电能表屏可布置在配电装置附近的小室内。

9.2.6 电压互感器二次电压回路的电缆芯线截面,应按《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)第9.2.1条的要求计算,一般计量回路不应小于4mm^2,其他测量回路不应小于2.5mm^2。

9.2.7 用于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类贸易结算的电能计量装置专用的电压互感器或二次绕组,以及相应的二次回路不得接入与电能计量无关的设备。

9.2.8 用于贸易结算的电能计量装置回路的互感器,其二次回路接线端子应设防护罩,防护罩应可靠铅封,也可采用无二次接线端子的互感器。

9.1.3.3 电测量变送器

规范引用 《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)

7.0.1 变送器的输入参数应与电流互感器和电压互感器的参数相符合,输出参数应满足测量仪表和计算机监控系统的要求。

7.0.2 变送器的输出可为电流输出、电压输出,或数字信号输出。变送器的电流输出宜选用4～20mA。

7.0.3 变送器模拟量输出回路所接入的负荷不应超过变送器输出的二次负荷值。

7.0.4 变送器的校准值应与二次测量仪表的满刻度值相匹配,可按《电力装置的电测量仪表装置设计规范》(GB/T 50063—2008)附录A和附录B计算。

7.0.5 变送器的辅助电源宜由交流不停电电源或直流电源供给。

9.3.1 变送器电流输出回路接线宜先接二次测量仪表,再接计算机监控系统。

9.3.2 接至计算机监控或遥测系统的弱电信号回路或数据通信回路,应选用专用的计算机屏蔽电缆或光纤通信电缆。

9.3.3 变送器模拟量输出回路和电能表脉冲量输出同路,宜选用对绞芯分屏蔽加总屏蔽的铜芯电缆,芯线截面不应小于0.75mm^2。

9.3.4 数字式仪表辅助电源宜采用交流不停电电源或直流电源。

9.2 电气设备和线路继电保护的配置、整定计算及选型

9.2.1 电力变压器的保护

9.2.1.1 保护配置

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

电力变压器的继电保护配置见表9-4。

表 9-4　电力变压器的继电保护配置

<table>
<tr><td rowspan="2">变压器容量
（kV·A）</td><td colspan="7">保护装置名称</td><td rowspan="2">备注</td></tr>
<tr><td>带时限①
过电流保护</td><td>电流速断
保护</td><td>纵联差动
保护</td><td>低压侧单相
接地保护②</td><td>过负荷保护</td><td>瓦斯保护④</td><td>温度保护⑤</td></tr>
<tr><td>＜400</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>≥315kV·A的车间内油浸变压器装设</td><td>—</td><td>一般用高压熔断器保护</td></tr>
<tr><td>400～630</td><td rowspan="2">高压侧采用断路器时装设</td><td rowspan="2">高压侧采用断路器且过电流保护时限＞0.5s时装设</td><td>—</td><td rowspan="3">装设</td><td rowspan="5">并联运行的变压器装设，作为其他备用电源的变压器根据过负荷的可能性装设③</td><td>车间内变压器装设</td><td>—</td><td rowspan="3">一般采用GL型继电器兼作过电流及电流速断保护</td></tr>
<tr><td>800</td><td>—</td><td rowspan="3">装设</td><td>—</td></tr>
<tr><td>1000～1600</td><td rowspan="3">装设</td><td rowspan="2">过电流保护时限＞0.5s时装设</td><td>—</td><td rowspan="3">装设</td></tr>
<tr><td>2000～5000</td><td>当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设</td><td>—</td><td></td></tr>
<tr><td>6300～8000</td><td>单独运行的变压器或负荷不太重要的变压器装设</td><td>并列运行的变压器或重要变压器或当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设</td><td>—</td><td>≥5000kV·A的变相变压器宜装设远距离测温装置
≥8000kV·A的变压器宜装设远距离测温装置</td></tr>
<tr><td>≥10000</td><td>装设</td><td>—</td><td>装设</td><td>—</td><td>装设</td><td>装设</td><td></td></tr>
</table>

注：①当带时限的过电流保护不能满足灵敏性要求时，应采用低电压闭锁的带时限过电流保护。

②当利用高压侧过电流保护及低压侧出线断路器保护不能满足灵敏性要求时，应装设变压器中性线上的零序过电流保护。

③低压电压为230/400V的变压器，当低压侧出线断路器带有过负荷保护时，可不装设专用的过负荷保护。

④密闭油浸变压器装设压力保护。

⑤干式变压器均应装设温度保护。

9.2.1.2 整定计算

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)



电力变压器的各种整定计算见表 9-5、9-6。

变压器出口处故障时流入继电器的电流计算及灵敏系数比较见表 7-6(见原规范,下同)。

表 9-5 电力变压器的电流保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	保护装置的动作电流(应躲过可能出现的过负荷电流) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{K_{gh}I_{1rT}}{K_r n_{TA}}$ A 保护装置的灵敏系数[按电力系统最小运行方式下,低压侧两相短路时流过高压侧(保护安装处)的短路电流①校验] $K_{sen}=\dfrac{I_{2k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 1.5$ 保护装置的动作时限(应与下一级保护动作时限相配合),一般取 0.5～0.7s	K_{rel}——可靠系数,用于过电流保护时 DL 型和 GL 型继电器分别取 1.2 和 1.3,用于电流速断保护时分别取 1.3 和 1.5,用于低压侧单相接地保护时(在变压器中性线上装设的)取 1.2,用于过负荷保护时取 1.05～1.1; K_{jx}——接线系数,接于相电流时取 1,接于相电流差时取 $\sqrt{3}$; K_r——继电器返回系数,取 0.85(动作电流); K_{gh}——过负荷系数②,包括电动机自启动引起的过电流倍数,一般取 2～3,当无自启动电动机时取 1.3～1.5; n_{TA}——电流互感器变比; I_{1rT}——变压器高压侧额定电流,A; $I_{2k2\cdot min}$——最小运行方式下变压器低压侧两相短路时,流过高压侧(保护安装处)的稳态电流,A; I_{op}——保护装置一次动作电流,A,$I_{op}=I_{op\cdot K}\dfrac{n_{TA}}{K_{jx}}$; $I''_{2k3\cdot min}$——最大运行方式下变压器低压侧三相短路时,流过高压侧(保护安装处)的超瞬态电流,A; $I''_{1k2\cdot min}$——最小运行方式下保护装置安装处两相短路超瞬态电流③,A; $I_{2kl\cdot min}$——最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地短路时,流过高压侧(保护安装处)的稳态电流,A,$I_{2kl\cdot min}=\dfrac{2}{3}I_{22kl\cdot min}/n_T$(Y,yn),$I_{2kl\cdot min}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}I_{22kl\cdot min}/n_T$(D,yn); $I_{22kl\cdot min}$——最小运行方式下变压器低压侧母线或母干线末端单相接地稳态短路电流,A;
电流速断保护	保护装置的动作电流(应躲过低压侧短路时,流过保护装置的最大短路电流) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I''_{2k3\cdot min}}{2n_{TA}}$ A 保护装置的灵敏系数(按系统最小运行方式下,保护装置安装处两相短路电流校验) $K_{sen}=\dfrac{I''_{1k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 2$	
低压侧单相接地保护(利用高压侧三相式过电流保护)	保护装置的动作电流和动作时限与过电流保护相同保护装置的灵敏系数[按最小运行方式下,低压侧母线或母干线末端单相接地时,流过高压侧(保护安装处)的短路电流①校验] $K_{sen}=\dfrac{I_{2kl\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 1.5$	
低压侧单相接地保护④(采用在低压侧中性线上装设专用的零序保护)	保护装置的动作电流(应躲过正常运行时,变压器中性线上流过的最大不平衡电流,其值按国家标准《电力变压器》GB 1094.1～5 规定,不超过额定电流的 25%⑤) $I_{op\cdot K}=K_{rel}\dfrac{0.25^{⑤}I_{2rT}}{n_{TA}}$A 保护装置的动作电流尚应与低压出线上的零序保护相配合 $I_{op\cdot K}=K_{co}\dfrac{I_{op\cdot fz}}{n_{TA}}$A 保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下,低压侧母线或母干线末端单相接地稳 态短路电流校验 $K_{sen}=\dfrac{I_{22kl\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 1.5$ 保护装置的动作时限一般取 0.5s	

续表

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过负荷保护	保护装置的动作电流(应躲过变压器额定电流) $I_{op\cdot K}=K_{jx}\dfrac{I_{1rT}}{K_r n_{TA}}$A 保护装置的动作时限(应躲过允许的短时工作过负荷时间,如电动机启动或自启动的时间)一般定时限取9～15s	n_T——变压器变比; K_{co}——配合系数,取1.1; $I_{op\cdot fZ}$——低压分支线上零序保护的动作电流,A; I_{2rT}——变压器低压侧额定电流; K_{sen}——灵敏系数
低电压启动的带时限过电流保护	保护装置的动作电流(应躲过变压器额定电流) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\cdot\dfrac{I_{1rT}}{K_r\cdot n_{TA}}$　A 保护装置的动作电压 $U_{op\cdot K}=\dfrac{U_{min}}{K_{rel}K_r n_{TV}}$V 保护装置的灵敏系数(电流部分)与过电流保护相同。 保护装置的灵敏系数(电压部分) $K_{sen}=\dfrac{U_{op}}{U_{sh\cdot max}}=\dfrac{U_{op\cdot K}n_{TV}}{U_{sh\cdot max}}$ 保护装置动作时限与过电流保护相同	K_{rel}——可靠系数,取1.2; K_r——继电器返回系数,取1.15(动作电压); n_{TV}——电压互感器变比; U_{min}——运行中可能出现的最低工作电压(如电力系统电压降低。大容量电动机启动及电动机自启动时引起的电压降低),一般取0.5～0.7U_{rT}(变压器高压侧母线额定电压); $U_{sh\cdot max}$——保护安装处的最大剩余电压,V

①带有自启动电动机的变压器,其过负荷系数按电动机的自启动电流确定。当电源侧装设自动重合闸或备用电源自动投入装置时,可近似地用下式计算

$$K_{gh}=\frac{1}{u_k+\dfrac{S_{rT}}{K_{st}S_{M\Sigma}}\times\left(\dfrac{380}{400}\right)^2}$$

式中　u_k——变压器的阻抗电压相对值;

S_{rT}——变压器的额定容量(kV·A);

$S_{M\Sigma}$——需要自启动的全部电动机的总容量(kV·A);

K_{st}——电动机的启动电流倍数,一般取5。

②两相短路超瞬态电流,I''_{k2}等于三相短路超瞬态电流I''_{k3}的0.866倍,三相短路超瞬态电流即对称短路电流初始值。

③Y,yn0接线变压器采用在低压侧中性线上装设专用零序互感器的低压侧单相接地保护,而D,yn11接线变压器可不装设。

④对于Y,yn0接线的变压器为25%,对于D,yn11接线的变压器可大于25%,一般取35%。

表9-6　双绕组电力变压器采用BCH－2、DCD－2型继电器的差动保护整定计算

计算项目	计算公式	符号说明
变压器各侧电流互感器二次回路额定电流I_r	按平均电压及变压器额定电流计算 $I_r=\dfrac{K_{jx}I_{rT}}{n_{TA}}$　A	K_{jx}——电流互感器二次回路接线系数,Y形接线时取1.0,△形接线时取$\sqrt{3}$; n_{TA}——电流互感器变比;

续表

计算项目	计算公式	符号说明
变压器各侧外部短路时的最大短路穿越电流	从略(由短路电流计算确定)	I_{rt}——变压器各侧额定一次电流,A; K_{rel}——可靠系数,取1.3; K_{tx}——电流互感器同型系数,型号相同时取0.5,型号不同时取1.0; Δf——电流互感器允许最大相对误差,取0.1; ΔU——变压器调压侧调压所引起的相对误差,取调压范围的一半; $\Delta f'$——由于继电器实用匝数与计算匝数不等而引起的相对误差,初算时先选中间值0.05(最大值为0.091),在确定各侧匝数后可按公式计算; $I_{k\cdot max}$——最大外部短路电流周期分量,A; $W_{ph\cdot c}$——继电器平衡线圈计算匝数; $W_{ph\cdot sy}$——继电器平衡线圈实用匝数; $W_{c\cdot sy}$——继电器差动线圈实用匝数; $I_{fh\cdot max}$——正常运行时变压器的最大负荷电流(不考虑事故运行方式),在负荷电流不能确定时,取 $I_{fh\cdot max}=I_{rT}$; AW_0——继电器的动作安匝,应取实测值,无实测值可取 $AW_0=60$; $I_{I\cdot op\cdot K}$——基本侧继电器动作电流,A; $W_{I\cdot c}$——基本侧的计算匝数; $W_{I\cdot sy}$——基本侧的实用匝数; I_{Ir}——基本侧电流互感器二次回路额定电流,A; $I_{II\cdot r}$——第Ⅱ侧电流互感器二次回路额定电流,A; $W_{II\cdot ph\cdot c}$——另一个平衡线圈的计算匝数; $W_{I\cdot ph\cdot sy}$——基本侧平衡线圈实用匝数; $W_{II\cdot ph\cdot sy}$——另一个平衡线圈实用匝数
保护装置一次动作电流 I_{op}	1. 保护装置的动作电流(应躲过外部故障最大不平衡电流) $I_{op}=K_{rel}(K_{tx}\Delta f+\Delta U+\Delta f')I_{k\cdot max}$ A $\Delta f'=\dfrac{W_{ph\cdot c}-W_{ph\cdot sy}}{W_{ph\cdot c}+W_{c\cdot sy}}$ 2. 保护装置的动作电流(应躲过变压器空载投入或故障切除后电压恢复时的励磁涌流) $I_{op}=(1\sim1.3)I_{rT}$ A (考虑躲过励磁涌流的系数初算时取1.3,当校验灵敏系数不够时可取1~1.2) 3. 保护装置的动作电流(还应躲过电流互感器二次回路断线) $I_{op}=1.3I_{fh\cdot max}$ A	
初步确定差动及平衡线圈的接法	双绕组变压器两侧电流互感器分别接于继电器的两个平衡线圈上,再接入差动线圈	
确定基本侧匝数	以第Ⅰ侧(电源侧)为基本侧 $W_{I\cdot c}=\dfrac{AW_0}{I_{I\cdot op\cdot K}}$ $W_{I\cdot sy}=W_{I\cdot ph\cdot sy}+W_{c\cdot sy}\leqslant W_{I\cdot c}$ $I_{I\cdot op\cdot K}=\dfrac{K_{jx}I_{op}}{n_{TA\cdot I}}$ A	
确定其他侧平衡线圈的匝数	$W_{II\cdot ph\cdot c}=W_{I\cdot sy}\dfrac{I_{Ir}}{I_{IIr}}W_{c\cdot sy}$ $W_{II\cdot ph\cdot sy}\approx W_{II\cdot ph\cdot c}$ 取整数	
校验由于实用匝数与计算匝数不相等而产生的相对误差	按公式计算 $\Delta f'$,如 $\Delta f'>0.05$,应代入 I_{op} 计算公式核算动作电流	
确定短路线圈抽头	短路线圈匝数用得越多,继电器躲过励磁涌流的性能越好,而且内部故障时动作的可靠系数也越高。但在内部故障电流中有较大非周期分量时,继电器的动作时间就越长。在选择短路线圈匝数时,应根据具体情况综合考虑上述利弊。对于中、小容量变压器,由于励磁涌流倍数大,内部故障时电流中的非周期分量衰减较快,对保护装置的动作时间又可降低要求,因此短路线圈应采用较多匝数,选取抽头3—3或4—4;对于大容量变压器,由于励磁涌流倍数较小,内部故障时电流中的非周期分量衰减较慢,又要求迅速切除故障,因此短路线圈可采用较少匝数,选取抽头2—2或3—3。此外还应考虑继电器所接电流互感器的型式,励磁阻抗小的电流互感器(如套管式)吸收非周期分量电流多,短路线圈应采用较多匝数。所选取的抽头是否合适,应在保护装置投入运行时,通过变压器空投试验确定	

续表

计算项目	计算公式	符号说明
保护装置最小灵敏系数	保护装置最小灵敏系数 $K_{sen\cdot min}=\dfrac{I_{I\cdot K}W_{I\cdot sy}+I_{II\cdot sy}}{AW_0}\geqslant 2$	$W_{I\cdot sy}$、$W_{II\cdot sy}$——相应侧的实用工作匝数，$W_{I\cdot sy}=W_{I\cdot ph\cdot sy}+W_{e\cdot sy}$，$W_{II\cdot sy}=W_{e\cdot sy}$； $I_{I\cdot K}$——最小运行方式下，变压器出口处故障时流过相应侧继电器线圈的电流，A； $I_{cd\cdot K}$——流入继电器的总电流，A，建议将各侧短路电流总和归算至基本侧（如为单侧电源，则归算至电源侧）然后再按表7-6计算； $I_{op\cdot K}$——相当于基本侧（单侧电源时为电源侧）实用工作匝数的继电器动作电流，A
	$K_{sen\cdot min}=\dfrac{I_{cd\cdot K}}{I_{op\cdot K}}\geqslant 2$ 简化计算公式 $K_{sen\cdot min}=\dfrac{I_{cd\cdot K}}{I_{op\cdot K}}\geqslant 2$	
	如果灵敏系数不满足要求，且算出的$\Delta f'$小于初算时取0.05，而动作电流又是由躲过外部故障时的不平衡电流决定的，则可按灵敏性条件选择动作电流，检查此动作电流是否满足另外两公式条件。然后确定继电器各线圈的计算和实用匝数，按公式算出$\Delta f'$，再根据不平衡电流公式检查是否满足选择性要求。如不满足，则应采用带制动特性的BCH－1、DCD－5型差动继电器	

9.2.1.3　设备选型的原则

《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)

4.0.1　电压为3～110kV，容量为63MV·A及以下的电力变压器，对下列故障及异常运行方式，应装设相应的保护装置：

1. 绕组及其引出线的相间短路和在中性点直接接地或经小电阻接地侧的单相接地短路。

2. 绕组的匝间短路。

3. 外部相间短路引起的过电流。

4. 中性点直接接地或经小电阻接地的电力网中外部接地短路引起的过电流及中性点过电压。

5. 过负荷。

6. 油面降低。

7. 变压器油温过高、绕组温度过高、油箱压力过高、产生瓦斯或冷却系统故障。

4.0.2　容量为0.4MV·A及以上的车间内油浸式变压器、容量为0.8MV·A及以上的油浸式变压器，以及带负荷调压变压器的充油调压开关均应装设瓦斯保护，当壳内故障产生轻微瓦斯或油面下降时，应瞬时动作于信号；当产生大量瓦斯时，应动作于断开变压器各侧断路器。

瓦斯保护应采取防止因震动、瓦斯继电器的引线故障等引起瓦斯保护误动作的措施。

当变压器安装处电源侧无断路器或短路开关时，保护动作后应作用于信号并发出远跳命令，同时应断开线路对侧断路器。

4.0.3 对变压器引出线、套管及内部的短路故障,应装设下列保护作为主保护,且应瞬时动作于断开变压器的各侧断路器,并应符合下列规定:

1. 电压为 10kV 及以下、容量为 10MV·A 以下单独运行的变压器,应采用电流速断保护。

2. 电压为 10kV 以上、容量为 10MV·A 及以上单独运行的变压器,以及容量为 6.3MV·A 及以上并列运行的变压器,应采用纵联差动保护。

3. 容量为 10MV·A 以下单独运行的重要变压器,可装设纵联差动保护。

4. 电压为 10kV 的重要变压器或容量为 2MV·A 及以上的变压器,当电流速断保护灵敏度不符合要求时,宜采用纵联差动保护。

5. 容量为 0.4MV·A 及以上、一次电压为 10kV 及以下,且绕组为三角－星形连接的变压器,可采用两相三继电器式的电流速断保护。

4.0.4 变压器的纵联差动保护应符合下列要求:

1. 应能躲过励磁涌流和外部短路产生的不平衡电流。

2. 应具有电流回路断线的判别功能,并应能选择报警或允许差动保护动作跳闸。

3. 差动保护范围应包括变压器套管及其引出线,如不能包括引出线,应采取快速切除故障的辅助措施。但在 63kV 或 110kV 电压等级的终端变电站和分支变电站,以及具有旁路母线的变电站,在变压器断路器退出工作由旁路断路器代替,纵联差动保护可短时利用变压器套管内的电流互感器,此时套管和引线故障可由后备保护动作切除;如电网安全稳定运行有要求时,应将纵联差动保护切至旁路断路器的电流互感器。

4.0.5 对由外部相间短路引起的变压器过电流,应装设下列保护作为后备保护,并应带时限动作于断开相应的断路器,同时应符合下列规定:

1. 过电流保护宜用于降压变压器。

2. 复合电压启动的过电流保护或低电压闭锁的过电流保护,宜用于升压变压器、系统联络变压器和过电流保护不符合灵敏性要求的降压变压器。

4.0.6 外部相间短路保护应符合下列规定:

1. 单侧电源双绕组变压器和三绕组变压器,相间短路后备保护宜装于各侧;非电源侧保护可带两段或三段时限;电源侧保护可带一段时限。

2. 两侧或三侧有电源的双绕组变压器和三绕组变压器,相间短路应根据选择性的要求装设方向元件,方向宜指向本侧母线,但断开变压器各侧断路器的后备保护不应带方向。

3. 低压侧有分支,且接至分开运行母线段的降压变压器,应在每个分支装设相间短路后备保护。

4. 当变压器低压侧无专用母线保护,高压侧相间短路后备保护对低压侧母线相间短路灵敏度不够时,应在低压侧配置相间短路后备保护。

4.0.7 三绕组变压器的外部相间短路保护,可按下列原则进行简化:

1. 除主电源侧外,其他各侧保护可仅作为本侧相邻电力设备和线路的后备保护。

2. 保护装置作为本侧相邻电力设备和线路保护的后备时,灵敏系数可适当降低,但对本侧母线上的各类短路应符合灵敏性要求。

4.0.8 中性点直接接地的 110kV 电力网中,当低压侧有电源的变压器中性点直接接地运行时,对外部单相接地引起的过电流,应装设零序电流保护,并应符合下列规定:

1. 零序电流保护可由两段组成,其动作电流与相关线路零序过电流保护相配合,每段

应各带两个时限，并均应以较短的时限动作于缩小故障影响范围，或动作于断开本侧断路器，同时应以较长的时限动作于断开变压器各侧断路器。

2. 双绕组及三绕组变压器的零序电流保护应接到中性点引出线上的电流互感器上。

4.0.9　110kV中性点直接接地的电力网中，当低压侧有电源的变压器中性点可能接地运行或不接地运行时，对外部单相接地引起的过电流，以及对因失去中性点接地引起的电压升高，应装设后备保护，并应符合下列规定：

1. 全绝缘变压器的零序保护应按《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)第4.0.8条装设零序电流保护，并应增设零序过电压保护。当变压器所连接的电力网选择断开变压器中性点接地时，零序过电压保护应经0.3～0.5s时限动作于断开变压器各侧断路器。

2. 分级绝缘变压器的零序保护，应在变压器中性点装设放电间隙。应装设用于中性点直接接地和经放电间隙接地的两套零序过电流保护，并应增设零序过电压保护。用于中性点直接接地运行的变压器应按《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)第4.0.8条装设零序电流保护；用于经间隙接地的变压器，应装设反应间隙放电的零序电流保护和零序过电压保护。当变压器所接的电力网失去接地中性点，且发生单相接地故障时，此零序电流电压保护应经0.3～0.5s时限动作于断开变压器各侧断路器。

4.0.10　当变压器低压侧中性点经小电阻接地时，低压侧应配置三相式过电流保护，同时应在变压器低压侧装设零序过电流保护，保护应设置两个时限。零序过电流保护宜接在变压器低压侧中性点回路的零序电流互感器上。

4.0.11　专用接地变压器应按《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)第4.0.3条配置主保护，并应配置过电流保护和零序过电流保护作为后备保护。

4.0.12　当变压器中性点经消弧线圈接地时，应在中性点设置零序过电流或过电压保护，并应动作于信号。

4.0.13　容量在0.4MV·A及以上、绕组为星形—星形接线，且低压侧中性点直接接地的变压器，对低压侧单相接地短路应选择下列保护方式，保护装置应带时限动作于跳闸：

1. 利用高压侧的过电流保护时，保护装置宜采用三相式。

2. 在低压侧中性线上装设零序电流保护。

3. 在低压侧装设三相过电流保护。

4.0.14　容量在0.4MV·A及以上、一次电压为10kV及以下、绕组为三角—星形接线，且低压侧中性点直接接地的变压器，对低压侧单相接地短路，可利用高压侧的过电流保护，当灵敏度符合要求时，保护装置应带时限动作于跳闸；当灵敏度不符合要求时，可按《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)第4.0.13条第2款和第3款装设保护装置，并应带时限动作于跳闸。

4.0.15　容量在0.4MV·A及以上并列运行的变压器或作为其他负荷备用电源的单独运行的变压器，应装设过负荷保护。对多绕组变压器，保护装置应能反应变压器各侧的过负荷。过负荷保护应带时限动作于信号。

在无经常值班人员的变电站，过负荷保护可动作于跳闸或断开部分负荷。

4.0.16　对变压器油温度过高、绕组温度过高、油面过低、油箱内压力过高、产生瓦斯和冷却系统故障，应装设可作用于信号或动作于跳闸的装置。

9.2.2 电力电容器的保护

9.2.2.1 保护装置

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

6～10kV 电力电容器的继电保护配置见表 9-7。

表 9-7 6～10kV 电力电容器的继电保护配置

被保护设备	保护装置名称									备注
	带有短延时的速断保护	过电流保护	过负荷保护	横差保护	中性线不平衡电流保护	开口三角电压保护	过电压保护	低电压保护	单相接地保护	
电容器组	装设	装设	宜装设	对电容器内容故障及其引出线短路采用专用的熔断器保护时,可不装设			当电压可能超过 110% 额定值时,宜装设	宜装设	电容器与支架绝缘时可不装设	当电容器组的容量在 400kvar 以内时,可以用带熔断的负荷开关进行保护

9.2.2.2 整定计算

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

6～10kV 电力电容器的继电保护整定计算见表 9-8。

表 9-8 6～10kV 电力电容器的继电保护整定计算②

保护名称	计算项目和公式	符号说明
带有短延时的速断保护	保护装置的动作电流(应按电容器组端部引线发生两相短路时,保护的灵敏系数应符合要求整定) $I_{op\cdot K} \leqslant \frac{I''_{k2\cdot min}}{2n_{TA}} \cdot K_{jx}$ 保护装置的动作时限应大于电容器组合闸涌流时间,为 0.2s 及以上	K_{jx}——接线系数,接于相电流时取 1,接于相电流差时取$\sqrt{3}$; n_{TA}——电流互感器变比; $I''_{k2\cdot min}$——最小运行方式下,电容器组端部两相短路时,流过保护安装处的超瞬态电流,A; K_{rel}——可靠系数,取 1.2; K_r——继电器返回系数,取 0.85; K_{gh}——过负荷系数,取 1.3; I_{rC}——电容器组额定电流,A; K_{sen}——保护装置的灵敏系数
过电流保护	保护装置的动作电流(应按大于电容器组允许的长期最大过电流整定) $I_{op\cdot K} = K_{rel}K_{jx}\frac{K_{gh}I_{rC}}{K_r n_{TA}}$ 保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下电容器组端部两相短路时,流过保护安装处的短路电流校验) $K_{sen} = \frac{I''_{k2\cdot min}}{I_{op}} \geqslant 1.5$ 保护装置的动作时限应较电容器组短延时速断保护的时限大一个时限阶段,一般大0.5～0.7s	

续表

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过负荷保护	保护装置的动作电流(应按电容器组负荷电流整定) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I_{rC}}{K_r n_{TA}}$ 保护装置的动作时限应较过电流保护大一时限阶段,一般大 0.5s	I_{bp}——最大不平衡电流,A,由测试决定; Q——单台电容器额定容量,kvar; β_C——单台电容器元件击穿相对数,取 0.5～0.75; U_{rC}——电容器额定电压,kV; m——每相各串联段电容器并联台数; n——每相电容器的串联段数; U_{bp}——最大不平衡零序电压,V,由测试决定; U_{rph}——电容器组的额定相电压,V; n_{TV}——电压互感器变比; U_{r2}——电压互感器二次额定电压,V,其值为 100V; K_{min}——系统正常运行母线电压可能出现的最低电压系数,一般取 0.5; $I_{C\Sigma}$——电网的总单相接地电容电流,A; I'_{rC}——单台电容器额定电流,A
横联差动保护 (双三角形接线)	保护装置的动作电流(应躲过正常时,电流互感器二次侧差动回路中的最大不平衡电流,以及当单台电容器内部 50%～70%串联元件击穿时,使保护装置有一定的灵敏系数,即 $K_{sen}\geqslant 1.5$) $I_{op\cdot K}\geqslant K_{rel}I_{bp}$　A $I_{op\cdot K}\leqslant\dfrac{Q\beta_C}{U_{rC}(1-\beta_C)}\times\dfrac{1}{n_{TA}K_{sen}}$　A	
中性线不平衡 电流保护 (双星形接线)	保护装置的动作电流(应躲过正常时,中性线上电流互感器二次回路中的最大不平衡电流,以及当单台电容器内部 50%～70%串联元件击穿时,使保护装置有一定的灵敏系数,即 $K_{sen}\geqslant 1.5$) $I_{op\cdot K}\geqslant K_{rel}K_{bp}$　A $I_{op\cdot K}\leqslant\dfrac{1}{K_{sen}n_{TA}}\cdot\dfrac{3m\beta_c I''_{rC}}{\{6n[m(1-\beta_c)+\beta_c]-5\beta_c\}}$　A	
开口三角 电压保护 (单星形接线)	保护装置的动作电压(应躲过由于三相电容的不平衡及电网电压的不对称,正常时所存在的不平衡零序电压,以及当单台电容器内部 50%～70%串联元件击穿时,使保护装置有一定的灵敏系数,即 $K_{sen}\geqslant 1.5$) $U_{op\cdot K}\geqslant K_{rel}U_{bp}$　V $U_{op\cdot K}\leqslant\dfrac{1}{K_{sen}n_{TV}}\cdot\dfrac{3\beta_c U_{rph}}{\{3n[m(1-\beta_c)+\beta_c]-2\beta_c\}}$　V	
过电压保护	保护装置的动作电压(按母线电压不超过 110%额定电压值整定) $U_{op\cdot K}=1.1U_{r2}$　V 保护装置动作于信号或带 3～5min 时限动作于跳闸	
低电压保护	保护装置的动作电压(按母线电压可能出现的低电压整定) $U_{op\cdot K}=K_{min}U_{r2}$　V	
单相接地保护	保护装置的一次动作电流(按最小灵敏系数 1.5 整定) $I_{op}\leqslant\dfrac{I_{C\Sigma}}{1.5}$　A	

注:①两相短路超瞬态电流 I''_{k2} 等于三相短路超瞬态电流 I''_{k3} 的 0.866 倍,三相短路超瞬态电流即对称短路电流初始值。

②电力电容组的继电保护整定计算均按未装设专用单台熔断器保护考虑。

9.2.2.3 设备选型的原则

规范引用 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)

8.1.1 3kV及以上的并联补偿电容器组的下列故障及异常运行状态,应装设相应的保护:

1. 电容器内部故障及其引出线短路。

2. 电容器组和断路器之间连接线短路。

3. 电容器组中某一故障电容器切除后所引起的剩余电容器的过电压。

4. 电容器组的单相接地故障。

5. 电容器组过电压。

6. 电容器组所连接的母线失压。

7. 中性点不接地的电容器组,各相对中性点的单相短路。

8.1.2 并联补偿电容器组应装设相应的保护,并应符合下列规定:

1. 电容器组和断路器之间连接线的短路,可装设带有短时限的电流速断和过电流保护,并应动作于跳闸。速断保护的动作电流,应按最小运行方式下,电容器端部引线发生两相短路时有足够的灵敏度,保护的动作时限应确保电容器充电产生涌流时不误动。

过电流保护装置的动作电流,应按躲过电容器组长期允许的最大工作电流整定。

2. 电容器内部故障及其引出线的短路,宜对每台电容器分别装设专用的熔断器。熔丝的额定电流可为电容器额定电流的1.5～2.0倍。

3. 当电容器组中的故障电容器切除到一定数量后,引起剩余电容器组端电压超过105%额定电压时,保护应带时限动作于信号;过电压超过110%额定电压时,保护应将整组电容器断开,对不同接线的电容器组,可采用下列保护之一:

1)中性点不接地单星形接线的电容器组,可装设中性点电压不平衡保护;

2)中性点接地单星形接线的电容器组,可装设中性点电流不平衡保护;

3)中性点不接地双星形接线的电容器组,可装设中性点间电流或电压不平衡保护;

4)中性点接地双星形接线的电容器组,可装设中性点回路电流差的不平衡保护;

5)多段串联单星形接线的电容器组,可装设段间电压差动或桥式差电流保护;

6)三角形接线的电容器组,可装设零序电流保护。

4. 不平衡保护应带有短延时的防误动的措施。

8.1.3 电容器组单相接地故障,可利用电容器组所连接母线上的绝缘监察装置检出;当电容器组所连接母线有引出线路时,可装设有选择性的接地保护,并应动作于信号;必要时,保护应动作于跳闸。安装在绝缘支架上的电容器组,可不再装设单相接地保护。

8.1.4 电容器组应装设过电压保护,并应带时限动作于信号或跳闸。

8.1.5 电容器组应装设失压保护,当母线失压时,应带时限跳开所有接于母线上的电容器。

8.1.6 电网中出现的高次谐波可能导致电容器过负荷时,电容器组宜装设过负荷保护,并应带时限动作于信号或跳闸。

9.2.3　3～10kV 电动机保护

9.2.3.1　保护装置

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

3～10kV 电动机的继电保护配置见表 9-9。

表 9-9　3～10kV 电动机的继电保护配置

电动机容量（kW）	保护装置名称						
	电流速断保护	纵联差动保护	过负荷保护	单相接地保护	低电压保护	失步保护①	防止非同步冲击的断电失步保护②
异步电动机 ＜2000	装设	当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设	生产过程中易发生过负荷时，或启动、自启动条件严重时应装设	单相接地电流＞5A 时装设，≥10A 时一般动作于跳闸，5～10A 时可动作于跳闸或信号	根据需要装设		
异步电动机 ≥2000		装设					
同步电动机 ＜2000	装设	当电流速断保护不能满足灵敏性要求时装设				装设	根据需要装设
同步电动机 ≥2000		装设					

注：①下列电动机可以利用反应定子回路的过负荷保护兼作失步保护：短路比在 0.8 及以上且负荷平稳的同步电动机，负荷变动大的同步电动机，但此时应增设失磁保护。短路比数据见表 7-23。

②大容量同步电动机当不允许非同步冲击时，宜装设防止电源短时中断再恢复时，造成非同步冲击的保护。

9.2.3.2　整定计算

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

3～10kV 电动机的继电保护整定计算见表 9-10。

表 9-10　3～10kV 电动机的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
电流速断保护	保护装置的动作电流： 异步电动机（应躲过电动机的启动电流） $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{K_{st}I_{rM}}{n_{TA}}$　A 同步电动机（应躲过电动机的启动电流外部短路时电动机的输出电流） $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{K_{st}I_{rM}}{n_{TA}}$　A 或 $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I''_{k3M}}{n_{TA}}$　A	K_{rel}——可靠系数，用于电流速断保护时，DL 型和 GL 型继电器分别取 1.4～1.6 和 1.8～2.0，用于差动保护时取 1.3，用于过负荷保护时动作于信号取 1.05，动作于跳闸取 1.2； K_{jx}——接线系数，接于相电流时取 1.0，接于相电流差时取$\sqrt{3}$；

续表

保护名称	计算项目和公式	符号说明
电流速断保护	保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下,电动机接线端两相短路时,流过保护安装处的短路电流校验) $K_{sen}=\frac{I''_{k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 2$	n_{TA}——电流互感器变比; I_{rM}——电动机额定电流,A; K_{st}——电动机启动电流倍数; I''_{k3M}——同步电动机接线端三相短路时,输出的超瞬态电流②,A, $I''_{k2\cdot min}$——最小运行方式下,电动机接线端两相短路时,流过保护安装处的超瞬态电流③,A; I_{op}——保护装置一次动作电流,A,$I_{op}=\frac{I_{op\cdot K}n_{TA}}{K_{jx}}$; K_{tx}——电流互感器的同型系数,取0.5; Δf——电流互感器允许误差,取0.1; AW_0——继电器的动作安匝,应采用实测值,如无实测值,则可取60; W_c——差动继电器线圈计算匝数; $W_{I\cdot ph\cdot sy}$——第一平衡线圈的实用匝数; $W_{c\cdot sy}$——差动线圈的实用匝数; $W_{II\cdot ph\cdot sy}$——第二平衡线圈的实用匝数; K_r——继电器返回系数,取0.85; t_{st}——电动机实际启动时间,s; t_{op}——保护装置动作时限,一般选为10~15s,应在实际启动时校验其能否躲过启动时间; I_{CM}——电动机的电容电流,A,除大型同步电动机外,可忽略不计,大型同步电动机的电容电流计算见本节之六; $I_{C\Sigma}$——电网的总单相接地电容电流,A
纵联差动保护(用BCH-2型差动继电器时)	保护装置的动作电流(应躲过以下三种情况最大不平衡电流:①电动机启动电流;②电流互感器二次回路断线;③外部短路时同步电动机输出的超瞬态电流) (1)$I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{tx}\Delta fK_{jx}\frac{K_{st}I_{tM}}{n_{TA}}$ A (2)$I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\frac{I_{tM}}{n_{TA}}$ A (3)$I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{tx}\Delta fK_{jx}\frac{I''_{k3M}}{n_{TA}}$ A 确定继电器的差动线圈及平衡线圈的匝数 $W_c=\frac{AW_0}{I_{op\cdot K}}$ $W_c\geqslant W_{I\cdot ph}+W_{c\cdot sy}$ $W_{II\cdot ph\cdot sy}=W_{I\cdot ph\cdot sy}$ 确定短路线圈的抽头:一般选取抽头3-3或2-2,对大容量电动机(如容量≥5000kW)可选取2-2或1-1。 保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下,电动机接线端两相短路时,流过保护装置的短路电流校验) $K_{sen}=\frac{W_{I\cdot ph\cdot sy}+W_{c\cdot sy}}{AW_0}\cdot\frac{K_{jx}I''_{k2\cdot min}}{n_{TA}}\geqslant 2$	
纵联差动保护(用DL-31型电流继电器时)	保护装置的动作电流(应躲过电动机的最大不平衡电流) $I_{op\cdot k}=(1.5\sim 2)\frac{I_{rM}}{n_{TA}}$ A 保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下,电动机接线端两相短路时,流过保护装置的短路电流校验) $K_{sen}=\frac{I''_{k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 2$	
过负荷保护	保护装置的动作电流(应躲过电动机的额定电流) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\frac{I_{rM}}{K_rn_{TA}}$ A 保护装置的动作时限(躲过电动机启动及自启动时间,即$t_{op}>t_{st}$)对于一般电动机为 $t_{op}=(1.1\sim 1.2)t_{st}$ s 对于传动风机负荷的电动机为 $t_{op}=(1.2\sim 1.4)t_{st}$ s	

①如为降压电抗器启动及变压器－电动机组，其启动电流倍数 K_{st} 改用 K'_{st} 代替

$$K'_{s1}=\frac{1}{\frac{1}{K_{st}}+\frac{u_k S_{rM}}{S_{rT}}}$$

式中　u_k——电抗器或变压器的阻抗电压相对值；

S_{rM}——电动机额定容量(kV·A)；

S_{rT}——电抗器或变压器额定容量(kV·A)。

②同步电动机接线端三相短路时，输出的超瞬态电流为

$$I''_{k3M}=\left(\frac{1.05}{x''_k}+0.95\sin\varphi_r\right)I_{rM}\quad A$$

式中　x_k''——同步电动机超瞬态电抗，相对值；

φ_r——同步电动机额定功率因数角；

I_{rM}——同步电动机额定电流(A)。

③两相短路超瞬态电流 I''_{k2} 等于三相短路超瞬态电流 I''_{k3} 的0.866倍，三相短路超瞬态电流即对称短路电流初始值。

④实际应用中，保护装置的动作时限 t_{op}，可按两倍动作电流及两倍动作电流时允许过负荷时间 t_{gh}，在继电器特性曲线上查出10倍动作电流时的动作时间。t_{gh} 可按下式计算

$$t_{gh}=\frac{150}{\left(\frac{2I_{op\cdot K}n_{TA}}{K_{jx}I_{rM}}\right)^2-1}\quad s$$

式中符号含义同上。

9.2.3.3　设备选型原则

规范引用　《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)

9.0.1　对3kV及以上的异步电动机和同步电动机的下列故障及异常运行方式，应装设相应的保护装置：

1. 定子绕组相间短路。
2. 定子绕组单相接地。
3. 定子绕组过负荷。
4. 定子绕组低电压。
5. 同步电动机失步。
6. 同步电动机失磁。
7. 同步电动机出现非同步冲击电流。
8. 相电流不平衡及断相。

9.0.2　对电动机绕组及引出线的相间短路，应装设相应的保护装置，并应符合下列规定：

1.2MW以下的电动机，宜采用电流速断保护；2MW及以上的电动机，或电流速断保护灵敏系数不符合要求的2MW以下的电动机，应装设纵联差动保护。

保护装置可采用两相或三相式接线，并应瞬时动作于跳闸。具有自动灭磁装置的同步电动机，保护装置尚应瞬时动作于灭磁。

2. 作为纵联差动保护的后备,宜装设过电流保护。

保护装置可采用两相或三相式接线,并应延时动作于跳闸。具有自动灭磁装置的同步电动机,保护装置尚应延时动作于灭磁。

9.0.3 对电动机单相接地故障,当接地电流大于5A时,应装设有选择性的单相接地保护;当接地电流小于5A时,可装设接地检测装置。

单相接地电流为10A及以上时,保护装置应动作于跳闸;单相接地电流为10A以下时,保护装置宜动作于信号。

9.0.4 对电动机的过负荷应装设过负荷保护,并应符合下列规定:

1. 生产过程中易发生过负荷的电动机应装设过负荷保护。保护装置应根据负荷特性,带时限动作于信号或跳闸。

2. 启动或自启动困难;需防止启动或自启动时间过长的电动机,应装设过负荷保护,并应动作于跳闸。

9.0.5 对母线电压短时降低或中断,应装设电动机低电压保护,并应符合下列规定:

1. 下列电动机应装设0.5s时限的低电压保护,保护动作电压应为额定电压的65%～70%。

1)当电源电压短时降低或短时中断又恢复时,需断开的次要电动机;

2)根据生产过程不允许或不需自启动的电动机。

2. 下列电动机应装设9s时限的低电压保护,保护动作电压应为额定电压的45%～50%:

1)有备用自动投入机械的Ⅰ类负荷电动机;

2)在电源电压长时间消失后需自动断开的电动机。

3. 保护装置应动作于跳闸。

9.0.6 对同步电动机的失步应装设失步保护。

失步保护宜带时限动作,对重要电动机应动作于再同步控制回路;不能再同步或根据生产过程不需再同步的电动机,应动作于跳闸。

9.0.7 对同步电动机的失磁,宜装设失磁保护。同步电动机的失磁保护应带时限动作于跳闸。

9.0.8 2MW及以上以及不允许非同步的同步电动机,应装设防止电源短时中断再恢复时造成非同步冲击的保护。

保护装置应确保在电源恢复前动作。重要电动机的保护装置,应动作于再同步控制回路;不能再同步或根据生产过程不需再同步的电动机,保护装置应动作于跳闸。

9.0.9 2MW及以上重要电动机,可装设负序电流保护。保护装置应动作于跳闸或信号。

9.0.10 当一台或一组设备由2台及以上电动机共同拖动时,电动机的保护装置应实现对每台电动机的保护。由双电源供电的双速电动机,其保护应按供电回路分别装设。

9.2.4 6～10kV线路继电器保护装置

9.2.4.1 保护装置

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)



6～10kV线路的继电保护配置见表9-11。

表 9-11　6～10kV 线路的继电保护配置

被保护线路	保护装置名称				备注
	无时限电流速断保护①	带时限速断保护	过电流保护	单相接地保护	
单侧电源放射式单回线路	自重要配电所引出的线路装设	当无时限电流速断不能满足选择性动作时装设	装设	根据需要装设	当过电流保护的时限不大于 0.5～0.7s，且没有保护配合上的要求时，可不装设电流速断保护

注：①无时限电流速断保护范围，应保证切除所有使该母线残压低于 50%～60%额定电压的短路。为满足这一要求，必要时保护装置可无选择地动作，并以自动装置来补救。

9.2.4.2　整定计算

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

6～10kV 线路的继电保护整定计算见表 9-12。

表 9-12　6～10kV 线路的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	保护装置的动作电流(应躲过线路的过负荷电流) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I_{gh}}{K_r n_{TA}}$　A 保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下线路末端两相短路电流校验) $K_{sen}=\dfrac{I_{2k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 1.5$ 保护装置的动作时限，应较相邻元件的过电流保护大一时限阶段，一般大 0.5～0.7s	K_{rel}——可靠系数，用于过电流保护时，DL 型和 CL 型继电器分别取 1.2 和 1.3，用于电流速断保护时分别取 1.2 和 1.5，用于单相接地保护时，无时限取 4～5，有时限取 1.5～2； K_{jx}——接线系数，接于相电流时取 1，接于相电流差时取$\sqrt{3}$； K_r——继电器返回系数，取 0.85；
无时限电流速断保护	保护装置的动作电流(应躲过线路末端短路时最大三相短路电流①②) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I''_{2k3\cdot max}}{n_{TA}}$　A 保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下线路始端两相短路电流校验) $K_{sen}=\dfrac{I_{1k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 2$	

续表

保护名称	计算项目和公式	符号说明
带时限电流速断保护	保护装置的动作电流(应躲过相邻元件末端短路时的最大三相短路电流或与相邻元件的电流速断保护的动作电流相配合,按两个条件中较大者整定) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I''_{3k3\cdot max}}{n_{TA}}$ A 或 $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I_{op\cdot 3}}{n_{TA}}$ A 保护装置的灵敏系数与无时限电流速断保护的公式相同。 保护装置的动作时限,应较相邻元件的电流速断保护大一个时限阶段,一般大0.5～0.7s	n_{TA}——电流互感器变比; I_{gh}③——线路过负荷(包括电动机启动所引起的)电流,A; $I_{2k2\cdot min}$——最小运行方式下,线路末端两相短路稳态电流,A; I_{op}——保护装置一次动作电流,A,$I_{op}=I_{op\cdot K}\dfrac{n_{TA}}{K_{jx}}$; $I''_{2k3\cdot max}$——最大运行方式下线路末端三相短路超瞬态电流,A; $I''_{1k2\cdot min}$——最小运行方式下线路始端两相短路超瞬态电流④,A; $I_{op\cdot 3}$——相邻元件的电流速断保护的一次动作电流,A; $I_{3k3\cdot max}$——最大运行方式下相邻元件末端三相短路稳态电流,A; I_{CX}——被保护线路外部发生单相接地故障时,从被保护元件流出的电容电流,A; $I_{C\Sigma}$——电网的总单相接地电容电流⑤,A
单相接地保护	保护装置的一次动作电流(按躲过被保护线路外部单相接地故障时,从被保护元件流出的电容电流及按最小灵敏系数1.25整定) $I_{op}\geqslant K_{rel}I_{CX}$ A 或 $I_{op}\leqslant\dfrac{I_{C\Sigma}-I_{CX}}{1.25}$ A	

①如为线路变压器组,应按配电变压器整定计算。

②当保证母线上具有规定的残余电压时,线路的最小允许长度按下式计算

$$K_x=\frac{-\beta K_1+\sqrt{1+\beta^2-K_1^2}}{\sqrt{1+\beta^2}}$$

$$l_{min}=\frac{X_{x\cdot min}}{R_1}\cdot\frac{-\beta+\sqrt{\dfrac{K_{rel}^2\alpha^2}{K_x^2}(1+\beta^2)-1}}{1+\beta^2}$$

式中 K_x——计算运行方式下电力系统最小综合电抗 $X_{x\cdot min}$ 上的电压与额定电压之比;

β——每千米线路的电抗 X_1 与有效电阻 R_1 之比;

K_1——母线上残余相间电压与额定相间电压之比,其值等于母线上最小允许残余电压与额定电压之比,取0.6;

R_1——每千米线路的有效电阻(Ω/km);

$X_{x\cdot min}$——按电力系统在最大运行方式下,在母线上的最小综合电抗(Ω);

K_{rel}——可靠系数,一般取1.2;

α——表示电力系统运行方式变化的系数,其值等于电力系统最小运行方式时的综合电抗 $X_{*x\cdot max}$ 与最大运行方式时的综合电抗 $X_{*x\cdot min}$ 之比。

③电动机自启动时的过负荷电流按下式计算

$$I_{gh}=K_{gh}I_{g\cdot xl}=\frac{I_{g\cdot xl}}{u_k+Z_{*\,\mathrm{II}}+\dfrac{S_{rT}}{K_{st}S_{M\Sigma}}}$$

式中　$I_{g\cdot xl}$——线路工作电流(A)；

K_{gh}——需要自启动的全部电动机，在启动时所引起的过电流倍数；

u_k——变压器阻抗电压相对值；

$Z_{*\,\mathrm{II}}$——以变压器额定容量为基准的线路阻抗标幺值；

S_{rT}——变压器额定容量(kV·A)；

$S_{M\Sigma}$——需要自启动的全部电动机容量(kV·A)；

K_{st}——电动机启动时的电流倍数。

④两相短路超瞬态电流 I''_{k2} 等于三相短路超瞬态电流 I''_{k3} 的 0.866 倍，三相短路超瞬态电流即对称短路电流初始值。

9.2.5　6～10kV 母线分段断路器保护

9.2.5.1　保护装置

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

6～10kV 母线分段断路器的继电保护配置见表 9-13。

表 9-13　6～10kV 母线分段断路器的继电保护配置

被保护设备	保护装置名称		备注
	电流速断保护	过电流保护	
不并列运行的分段母线	仅在分段断路器合闸瞬间投入，合闸后自动解除	装设	(1)采用反时限过电流保护时，继电器瞬动部分应解除； (2)对出线不多的Ⅱ、Ⅲ级负荷供电的配电所母线分段断路器，可不设保护装置

9.2.5.2　整定计算

规范引用　《工业与民用配电设计手册》(第三版)

6～10kV 母线分段断路器的继电保护整定计算见表 9-14。

表 9-14　6～10kV 母线分段断路器的继电保护整定计算

保护名称	计算项目和公式	符号说明
过电流保护	保护装置的动作电流(应躲过任一母线段的最大负荷电流) $I_{op\cdot K}=K_{rel}K_{jx}\dfrac{I_{fh}}{K_r n_{TA}}$　(A) 保护装置的灵敏系数(按最小运行方式下母线两相短路时，流过保护安装的短路电流校验．对后备保护，则按最小运行方式下相邻元件末端两相短路时，流过保护安装处的短路电流校验) $K_{sen}=\dfrac{I_{k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 1.5$ $K_{sen}=\dfrac{I_{3k2\cdot min}}{I_{op}}\geqslant 1.2$ 保护装置的动作时限，应较相邻元件的过电流保护大一时限阶段，一般大 0.4～0.7s	K_{rel}——可靠系数，取值与 6～10kV 线路保护整定计算相同； K_{jx}——接线系数，取值与 6～10kV 线路保护整定计算相同； K_r——继电器返回数，取 0.85； I_{fh}——一段母线最大负荷(包括电动机自启动引起的)电流，A； n_{TA}——电流互感器变比； $I_{k2\cdot min}$——最小运行方式下母线两相短路时，流过保护安装处的稳态电流，A； $I_{3k2\cdot min}$——最小运行方式下相邻元件末端两相短路时，流过保护安装处的稳态电流，A；

续表

保护名称	计算项目和公式	符号说明
电流速断保护	保护装置的动作电流(应按最小灵敏系数2整定) $I_{op\cdot K}\leqslant\frac{I''_{k2\cdot min}}{2n_{TA}}$ (A)	I_{op}——保护装置一次动作电流,A,$I_{op}=I_{op\cdot K}\frac{n_{TA}}{K_{jx}}$; $I''_{k2\cdot min}$——最小运行方式下母线两相短路时,流过保护安装处的超瞬态电流①,A

注:①两相短路超瞬态电流 I''_{k2} 等于三相短路超瞬态电流 I''_{k3} 的0.866倍,三相短路超瞬态电流即对称短路电流初始值。

9.3 变配电所自动装置及综合自动化的设计要求

9.3.1 自动重合器

规范引用 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)

10.0.1 在3～110kV电网中,下列情况应装设自动重合闸装置:

1.3kV及以上的架空线路和电缆与架空的混合线路,当用电设备允许且无备用电源自动投入时。

2.旁路断路器和兼作旁路的母联或分段断路器。

10.0.2 35MV·A及以下容量且低压侧无电源接于供电线路的变压器,可装设自动重合闸装置。

10.0.3 单侧电源线路的自动重合闸方式的选择应符合下列规定:

1.应采用一次重合闸。

2.当几段线路串联时,宜采用重合闸前加速保护动作或顺序自动重合闸。

10.0.4 双侧电源线路的自动重合闸方式的选择应符合下列规定:

1.并列运行的发电厂或电力网之间,具有四条及以上联系的线路或三条紧密联系的线路,可采用不检同期的三相自动重合闸。

2.并列运行的发电厂或电力网之间,具有两条联系的线路或三条不紧密联系的线路,可采用下列重合闸方式:

1)当非同步合闸的最大冲击电流超过《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)附表A.0.1中规定的允许值时,可采用同期检定和无压检定的三相自动重合闸;

2)当非同步合闸的最大冲击电流不超过《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)附表A.0.1中规定的允许值时,可采用不检同期的三相自动重合闸;

3)无其他联系的并列运行双回线,当不能采用非同期重合闸时,可采用检查另一回线路有电流的三相自动重合闸。

3.双侧电源的单回线路,可采用下列重合闸方式:

1)可采用解列重合闸;

2)当水电厂条件许可时,可采用自同步重合闸;

3)可采用一侧无压检定,另一侧同期检定的三相自动重合闸。

10.0.5　自动重合闸装置应符合下列规定:

1. 自动重合闸装置可由保护装置或断路器控制状态与位置不对应启动。

2. 手动或通过遥控装置将断路器断开或将断路器投入故障线路上而随即由保护装置将其断开时,自动重合闸均不应动作。

3. 在任何情况下,自动重合闸的动作次数应符合预先的规定。

4. 当断路器处于不正常状态不允许实现自动重合闸时,应将重合闸装置闭锁。

9.3.2　备用电源或备用设备的自动投入装置

规范引用　《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)

11.0.1　下列情况,应装设备用电源或备用设备的自动投入装置:

1. 由双电源供电的变电站和配电站,其中一个电源经常断开作为备用。

2. 发电厂、变电站内有备用变压器。

3. 接有Ⅰ类负荷的由双电源供电的母线段。

4. 含有Ⅰ类负荷的由双电源供电的成套装置。

5. 某些重要机械的备用设备。

11.0.2　备用电源或备用设备的自动投入装置,应符合下列要求:

1. 应保证在工作电源断开后投入备用电源。

2. 工作电源故障或断路器被错误断开时,自动投入装置应延时动作。

3. 手动断开工作电源、电压互感器回路断线和备用电源无电压情况下,不应启动自动投入装置。

4. 应保证自动投入装置只动作一次。

5. 自动投入装置动作后,如备用电源或设备投到故障上,应使保护加速动作并跳闸。

6. 自动投入装置中,可设置工作电源的电流闭锁回路。

7. 一个备用电源或设备同时作为几个电源或设备的备用时,自动投入装置应保证在同一时间备用电源或设备只能作为一个电源或设备的备用。

11.0.3　自动投入装置可采用带母线残压闭锁或延时切换方式,也可采用带同步检定的快速切换方式。

9.3.3　自动低频低压减负荷装置

规范引用　《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)

12.0.1　在变电站和配电站,应根据电力网安全稳定运行的要求装设自动低频低压减负荷装置。当电力网发生故障导致功率缺额,使频率和电压降低时,应由自动低频低压减负荷装置断开一部分次要负荷,并应将频率和电压降低限制在短时允许范围内,同时应使其在允许时间内恢复至长时间允许值。

12.0.2　自动低频低压减负荷装置的配置及所断开负荷的容量,应根据电力系统最不利运行方式下发生故障时,可能发生的最大功率缺额确定。

12.0.3 自动低频低压减负荷装置应按频率、电压分为若干级,升应根据电力系统运行方式和故障时功率缺额分轮次动作。

12.0.4 在电力系统发生短路、进行自动重合闸或备用自动投入装置动作时电源中断的过程中,当自动低频低压减负荷装置可能误动作时,应采取相应的防止误动作的措施。

9.3.4 变配电所综合自动化的设计

9.3.4.1 设计原则

变配电所综合自动化设计应遵循如下原则:

(1)提高变配电所安全生产水平、技术管理水平和供电质量。

(2)使变配电所运行方便、维护简单,提高劳动生产率和营运效益,实现减人增效。

(3)减小二次设备间的连接,节约控制电缆。

(4)减少变配电所设备的配置,避免设备重复设置,实现资源共享。

(5)减少变配电所占地面积,降低工程造价。

变配电所计算机监控系统的选型应做到安全可靠、经济适用、技术先进、符合国情。应采用具有开放性和可扩充性,抗干扰性强的、成熟可靠的产品。变配电所综合自动化系统应能实现对变配电所可靠、合理、完善的监视、测量、控制、运行管理,并具备遥测、遥信、遥调、遥控等全部的远动功能,具有与调度通信中心计算系统交换信息的能力。

9.3.4.2 变配电所控制室的布置

(1)控制室的布置。

1)主控制室的控制屏和保护屏可采用合在一室的布置或将控制屏与继电器屏分室布置的形式。中小型变配电所一般采用前者。

2)控制室的布置一般有Ⅱ型、Γ型或直列式布置,主环正面宜采用直列式布置,超过9块屏时,也可采用弧形布置。主变压器、母线设备及中央信号装置的控制屏,应布置在主环正面。35kV及以上的线路控制屏、线路并联电抗器、串联补偿电容器及无功补偿装置的控制屏,应根据规划确定布置在主环正面或侧面。

3)电度表及记录仪表应布置在抄表方便的地方。直流屏布置在控制室时,可布置在主环侧面,也可布置在便于操作的主环以外的地方。继电保护和自动装置屏一般布置在主环以外,放在主环的后面。

4)计算机或微处理机及辅助设备宜布置在与主控制室相通的单独房间中,该房间应能满足计算机微处理机的运行要求。屏幕显示器宜放在主环正面或值班操作台上。

(2)控制屏(屏台)及继电器屏的屏面布置。

1)控制屏(屏台)的布置应满足下列要求:

①监视、操作和调节方便,模拟接线清晰。相同安装的单位,其屏面布置应一致。

②测量仪表尽量与模拟接线相对应,A、B、C相按纵向排列,为便利运行监视,同类安装单位功能相同的仪表,一般布置在相对应的位置。主环内每侧各屏光字牌的高度应一致。光字牌宜放置在屏的上方,要求上部取齐;当放置在中间时,要求下部取齐。

③对屏台分开设仪表信号屏或返回屏的结构,经常监视的常测仪表、光字牌、操作设备放在屏台上,一般常测仪表布置在仪表信号屏或返回屏电气主接线模拟线上。

④操作设备宜与安装单位的模拟接线相对应,功能相同的操作设备,应布置在相对应的

位置上，为避免运行人员误操作，操作方向全所必须一致。

⑤采用灯光监视时，红、绿灯分别布置在控制开关的右上侧和左上侧。

⑥屏面设备之间的距离应满足设备安装及接线的要求。800mm宽的屏或台上，每行控制开关不得超过5个(强电小开关和弱电开关除外)，一般为4个。操作设备的中心线离地面不应低于600mm(调节手轮除外)，经常操作的设备宜布置在离地面800～1500mm处。

⑦设计屏台和屏面布置时，应考虑屏背面安装端子排不超过制造厂允许的数量。为便于接线，屏背每侧端子排距地不宜低于350 mm。

2)继电器屏面的布置应满足下列要求：

①调试方便，安全可靠，屏面布置适当紧凑。

②相同安装单位的屏面布置宜对应一致，不同安装单位的继电器装在一块屏上，宜按照纵向划分，其布置宜对应一致。

③设备或元件装设两套主保护装置时，宜分别布置在不同屏上。

④组合式继电器插件箱，宜将相同出口继电器的保护装置装在一个插件箱内。

⑤对由单个继电器构成的继电保护装置，调整、检查工作较少的继电器布置在上部，较多的布置在中部。一般按如下次序由上至下排列：电流、电压、中间、时间继电器等布置在屏的上部，方向、差动、重合闸继电器等布置在屏的中部。对组合式继电器插件箱，宜按照出口分组的原则，相同出口的保护装置放在一起或上下紧靠布置。一组出口的保护装置停止工作时，不得影响另一组出口的保护运行。

⑥各屏上设备装设高度横向应整齐一致，避免在屏后装设继电器。各屏上信号继电器宜集中布置，安装水平高度应一致，其安装中心线离地面不宜低于600mm。

⑦试验部件与连接片，安装中心线离地面不宜低于300mm。

⑧对正面不开门的继电器屏，屏的下面离地250mm处宜设有孔洞，供实验时穿线之用。

⑨继电器屏背面宜设双门。

10 变配电所操作电源

10.1 直流操作电源的设计要求

10.1.1 直流系统负荷

10.1.1.1 直流负荷分类

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

5.1.1 按功能分类

1. 控制负荷:电气和热工的控制、信号、测量和继电保护、自动装置等负荷。

2. 动力负荷:各类直流电动机、断路器电磁操动的合闸机构、交流不停电电源装置、远动、通信装置的电源和事故照明等负荷。

5.1.2 按性质分类

1. 经常负荷:要求直流系统在正常和事故工况下均应可靠供电的负荷。

2. 事故负荷:要求直流系统在交流电源系统事故停电时间内可靠供电的负荷。

3. 冲击负荷:在短时间内施加的较大负荷电流。冲击负荷出现在事故初期(1min)称初期冲击负荷,出现在事故末期或事故过程中称随机负荷(5s)。

10.1.1.2 直流负荷统计

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

5.2.1 直流负荷统计规定

1. 装设2组蓄电池时:

1)控制负荷,每组应按全部负荷统计。

2)动力负荷宜平均分配在两组蓄电池上,其中直流事故照明负荷,每组应按全部负荷的60%(变电所和有保安电源的发电厂可按100%)统计。

3)事故后恢复供电的断路器合闸冲击负荷按随机负荷考虑。

2. 两个直流系统间设有联络线时,每组蓄电池仍按各自所连接的负荷考虑,不因互联而增加负荷容量的统计。

3. 直流系统标称电压为 48V 及以下的蓄电池组，每组均按全部负荷统计。

5.2.2 事故停电时间

1. 与电力系统连接的发电厂，厂用交流电源事故停电时间应按 1h 计算。

2. 不与电力系统连接的孤立发电厂，厂用交流电源事故停电时间应按 2h 计算。

3. 直流输电换流站，全站交流电源事故停电时间应按 2h 计算。

4. 有人值班的变电所，全所交流电源事故停电时间应按 1h 计算。

5. 无人值班的变电所，全所交流电源事故停电时间应按 2h 计算。

5.2.3 直流负荷统计计算时间应符合表 10-1 的规定。

表 10-1 直流负荷统计计算时间表

序号	负荷名称		经常	事故放电计算时间						
				初期	持续/h					随机
				1min	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	5s
1	信号灯、位置指示器和位置继电器	发电厂和有人值班变电所	√	√		√				
		无人值班变电所	√	√				√		
		换流站和孤立发电厂	√	√				√		
2	控制、保护、监控系统	发电厂和有人值班变电所	√	√		√				
		无人值班变电所	√	√				√		
		换流站和孤立发电厂	√	√				√		
3	断路器跳闸			√						
4	断路器自投(电磁操动机构)			√						
5	恢复供电断路器合闸									√
6	氢密封油泵	200MW 及以下机组		√		√				
		300MW 及以上机组		√					√	
7	直流润滑油泵	25MW 及以下机组		√	√					
		50～300MW 机组		√		√				
		600MW 及以上机组		√			√			
8	交流不停电电源	发电厂		√	√					
		变电所 有人值班		√		√				
		变电所 无人值班		√				√		
		换流站和孤立发电厂		√				√		
9	DC/DC 变换装置	有人值班变电所	√	√		√				
		无人值班变电所	√	√				√		
10	直流长明灯	发电厂和有人值班变电所	√	√		√				
		换流站和孤立发电厂	√	√				√		
11	事故照明	发电厂和有人值班变电所		√		√				
		换流站和孤立发电厂		√				√		
		无人值班变电所				√				

注：表中“√”表示具有该项负荷时，应予以统计的项目

5.2.4 直流负荷统计时负荷系数应符合表 10-2 的规定。

表 10-2 直流负荷统计负荷系数表

序号	负荷名称	负荷系数	备注
1	信号灯、位置指示器和位置继电器	0.6	
2	控制、保护、监控系统	0.6	
3	断路器跳闸	0.6	
4	断路器自投(电磁操动机构)	0.5	
5	恢复供电断路器合闸	1.0	
6	氢密封油泵	0.8	
7	直流润滑油泵	0.9	
8	交流不停电电源装置	0.6	
9	DC/DC 变换装置	0.8	
10	直流长明灯	1.0	
11	事故照明	1.0	

注:事故初期(1min)的冲击负荷,按如下原则统计:

1)备用电源断路器为电磁操动合闸机构时,应按备用电源实际自投断路器台数统计。

2)低电压、母线保护、低频减载等跳闸回路按实际数量统计。

3)电气及热工的控制、信号和保护回路等按实际负荷统计。

4)事故停电时间内,恢复供电断路器电磁操动机构的合闸电流(随机负荷),应按断路器合闸电流最大的 1 台统计,并应与事故初期冲击负荷之外的最大负荷或出现最低电压时的负荷相叠加。

10.1.2 直流电源

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

4.1.1 发电厂和变电所内,为了向控制负荷和动力负荷等供电,应设置直流电源。

4.1.2 220V 和 110V 直流系统应采用蓄电池组。

48V 及以下的直流系统,可采用蓄电池组,也可采用由 220V 或 110V 蓄电池组供电的电力用直流电源变换器(DC/DC 变换器)。

4.1.3 供电距离较远的辅助车间,当需要直流电源时,宜独立设置直流系统。

4.1.4 运煤系统电磁分离器等允许短时间停电的直流负荷,宜采用单独的硅整流设备直接供电。

4.1.5 蓄电池组正常应以浮充电方式运行。

4.1.6 铅酸蓄电池组不宜设置端电池;镉镍碱性蓄电池组宜减少端电池的个数。

规范引用 《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》(GB/T 50062—2008)

15.3.1 继电保护和自动装置应由可靠的直流电源装置(系统)供电,直流母线电压允许波动范围应为额定电压的 85%～110%,波纹系数不应大于 1%。

15.3.2 继电保护和自动装置电源回路保护设备的配置,应符合下列规定:

1. 当一个安装单位只有一台断路器时,继电保护和自动装置可与控制回路共用一组熔断器或自动开关。

2. 当一个安装单位有几台断路器时，该安装单位的保护和自动装置回路应设置单独的熔断器或自动开关。各断路器控制回路熔断器或自动开关可单独设置，也可接于公用保护回路熔断器或自动开关之下。

3. 两个及以上安装单位的公用保护和自动装置回路，应设置单独的熔断器或自动开关。

4. 发电机出口断路器及灭磁开关控制回路，可合用一组熔断器或自动开关。

5. 电源回路的熔断器或自动开关均应加以监视。

15.3.3 继电保护和自动装置信号回路保护设备的配置，应符合下列规定：

1. 继电保护和自动装置信号回路均应设置熔断器或自动开关。

2. 公用信号回路应设置单独的熔断器或自动开关。

3. 信号回路的熔断器或自动开关应加以监视。

10.1.3 直流系统接线

10.1.3.1 系统电压

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

4.2.1 直流系统标称电压

1. 专供控制负荷的直流系统宜采用 110V。

2. 专供动力负荷的直流系统宜采用 220V。

3. 控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统采用 220V 或 110V。

4. 当采用弱电控制或弱电信号接线时，采用 48V 及以下。

4.2.2 在正常运行情况下，直流母线电压应为直流系统标称电压的 105%。

4.2.3 在均衡充电运行情况下，直流母线电压应满足如下要求：

1. 专供控制负荷的直流系统，应不高于直流系统标称电压的 110%；

2. 专供动力负荷的直流系统，应不高于直流系统标称电压的 112.5%；

3. 对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统，应不高于直流系统标称电压的 110%。

4.2.4 在事故放电情况下，蓄电池组出口端电压应满足如下要求：

1. 专供控制负荷的直流系统，应不低于直流系统标称电压的 85%；

2. 专供动力负荷的直流系统，应不低于直流系统标称电压的 87.5%；

3. 对控制负荷和动力负荷合并供电的直流系统，宜不低于直流系统标称电压的 87.5%。

10.1.3.2 接线方式

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

4.5.1 母线接线方式

1.1 组蓄电池的直流系统，采用单母线分段接线或单母线接线。

2.2 组蓄电池的直流系统，应采用二段单母线接线，蓄电池组应分别接于不同母线段。二段直流母线之间应设联络电器。

3.2 组蓄电池的直流系统，应满足在运行中二段母线切换时不中断供电的要求。切换过程中允许 2 组蓄电池短时并联运行。

4.5.2 蓄电池组和充电装置均应经隔离和保护电器接入直流系统。

1. 直流系统为单母线分段接线时,蓄电池组及充电装置的连接方式如下:

1)1 组蓄电池配置 1 套充电装置时,二者应接入不同母线段;

2)1 组蓄电池配置 2 套充电装置时,2 套充电装置应接入不同母线段。蓄电池组应跨接在二段母线上。

2.2 组蓄电池配置 2 套充电装置时,每组蓄电池及其充电装置应分别接入不同母线段。

3.2 组蓄电池配置 3 套充电装置时,每组蓄电池及其充电装置应分别接入不同母线段,第 3 套充电装置应经切换电器可对 2 组蓄电池进行充电。

4.5.3 设有端电池的镉镍碱性蓄电池组,应设有降压装置。

4.5.4 每组蓄电池均应设有专用的试验放电回路。试验放电设备,宜经隔离和保护电器直接与蓄电池组出口回路并接。该装置宜采用移动式设备。

4.5.5 除有特殊要求的直流系统外,直流系统应采用不接地方式。

10.1.3.3 网络设计

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

4.6.1 直流网络宜采用辐射供电方式。

4.6.2 直流柜辐射供电

1. 直流事故照明、直流电动机、交流不停电电源装置、远动、通信以及 DC/DC 变换器的电源等。

2. 发电厂和变电所集中控制的主要电气设备的控制、信号和保护的电源。

3. 电气和热工直流分电柜的电源。

4.6.3 直流分电柜应根据用电负荷和设备布置情况合理设置。

4.6.4 直流分电柜的接线

1. 直流分电柜应有 2 回直流电源进线,电源进线宜经隔离电器接至直流母线。

2.1 组蓄电池的直流系统,2 回直流电源宜来自不同母线段,对单母线接线可来自同一母线段,分电柜的直流母线可不分段;对于具有双重化控制和保护回路要求双电源供电的负荷,分电柜应采用二段母线。

3.2 组蓄电池的直流系统

1)对于具有双重化控制和保护回路要求双电源供电的负荷,分电柜应采用 2 段母线,2 回直流电源应来自不同蓄电池组。并应防止 2 组蓄电池并联运行。

2)对于不具有双重化控制和保护回路的供电负荷,2 回直流电源可来自同一组蓄电池,也可来自不同蓄电池组,并应防止 2 组蓄电池并联运行。

4.6.5 当需要采用环形供电时,环形网络干线或小母线的 2 回直流电源应经隔离电器接入,正常时为开环运行。环形供电网络干线引接负荷处也应设置隔离电器。

10.1.4 蓄电池的选择及容量计算

10.1.4.1 蓄电池的选择

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

4.3.1 蓄电池型式

1. 大型和中型发电厂、220kV 及以上变电所和直流输电换流站宜采用防酸式铅酸蓄电池或阀控式密封铅酸蓄电池。

2. 小型发电厂及 110kV 变电所宜采用阀控式密封铅酸蓄电池、防酸式铅酸蓄电池，也可采用中倍率镉镍碱性蓄电池。

3. 35kV 及以下变电所和发电厂辅助车间宜采用阀控式密封铅酸蓄电池，也可采用高倍率镉镍碱性蓄电池。

4.3.2 蓄电池组数

1. 设有主控制室的发电厂，当机组总容量为 100MW 及以上时，宜装设 2 组蓄电池。其他情况下可装设 1 组蓄电池。

2. 容量为 200MW 以下机组的发电厂，当采用单元控制室的控制方式时，每台机组可装设 1 组蓄电池。

3. 容量为 200MW 级机组的发电厂，且升高电压为 220kV 及以下时，每台机组可装设 1 组蓄电池（控制负荷和动力负荷合并供电）或 2 组蓄电池（控制负荷、动力负荷分别供电）。

4. 容量为 300MW 级机组的发电厂，每台机组宜装设 3 组蓄电池，其中 2 组对控制负荷供电，另 1 组对动力负荷供电，或装设 2 组蓄电池（控制负荷和动力负荷合并供电）。

5. 容量为 600MW 级及以上机组的发电厂，每台机组应装设 3 组蓄电池，其中 2 组对控制负荷供电，另 1 组对动力负荷供电。

6. 小型供热发电厂和垃圾发电厂根据工艺要求可装设 1 组或 2 组蓄电池。

7. 发电厂网络控制系统中包括 220kV 及以上电气设备时，应独立设置不少于 2 组蓄电池对控制负荷和动力负荷供电。当配电装置内设有继电保护装置小室时，可将蓄电池组分散装设。

其他情况的网络控制系统可装设 1 组蓄电池。

8. 220～500kV 变电所应装设不少于 2 组蓄电池。当配电装置内设有继电保护装置小室时，可将蓄电池组分散装设。

9. 110kV 及以下变电所宜装设 1 组蓄电池，对于重要的 110kV 变电所也可装设 2 组蓄电池。

10. 直流输电换流站，站用蓄电池应装设 2 组；极用蓄电池每极可装设 2 组。

11. 直流系统电压为 48V 及以下采用蓄电池时，可装设 2 组蓄电池。

12. 当大型发电厂的蓄电池容量选择大于产品制造容量时，允许装设 2 组半容量蓄电池，并联运行，即视为 1 组蓄电池。

7.1.1 蓄电池个数[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 B.1]

1. 无端电池的铅酸蓄电池组，应根据单体电池正常浮充电电压值和直流母线电压为 1.05 倍直流系统标称电压值来确定。

2. 有端电池的镉镍碱性蓄电池组，应根据单体电池正常浮充电电压值和直流母线电压为 1.05 倍直流系统标称电压值来确定基本电池个数；同时应根据该电池放电时允许的最低电压值和直流母线电压为 1.05 倍直流系统标称电压值确定整组电池个数。

7.1.2 蓄电池浮充电压

蓄电池浮充电压应根据厂家推荐值选取，当无产品资料时可按下列条件选取：

1. 防酸式铅酸蓄电池的单体浮充电电压值宜取 2.15～2.17V（GFD 型蓄电池宜取 2.17～2.23V）。

2. 阀控式密封铅酸蓄电池的单体浮充电电压值宜取 2.23～2.27V。

3. 中倍率镉镍碱性蓄电池的单体浮充电电压值宜取 1.42～1.45V。

4. 高倍率镉镍碱性蓄电池的单体浮充电电压值宜取 1.36～1.39V。

7.1.3 蓄电池放电终止电压

单体蓄电池放电终止电压应根据直流系统中直流负荷允许的最低电压值和蓄电池的个数来确定,但不得低于产品规定的最低允许电压值。

7.1.4 蓄电池均衡充电电压

单体蓄电池均衡充电电压应根据直流系统中直流负荷允许的最高电压值和蓄电池的个数来确定,但不得超出产品规定的电压允许范围。

7.1.5 蓄电池容量选择条件

1. 应满足全厂(所)事故全停电时间内的放电容量;

2. 应满足事故初期(1min)直流电动机启动电流和其他冲击负荷电流的放电容量;

3. 应满足蓄电池组持续放电时间内随机(5s)冲击负荷电流的放电容量;

4. 应以最严重的事故放电阶段,计算直流母线电压水平。

10.1.4.2 蓄电池的容量计算

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

7.1.6 蓄电池容量选择计算[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 B.2]

1. 电压控制法(亦称容量换算法)[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 B.2.1]

1)按事故放电时间分别统计事故放电容量。

2)根据蓄电池型式、放电终止电压和放电时间,确定相应的容量系数(K_{cc})。

3)根据事故放电容量计算所需容量(C_c)。选取与计算容量最大值接近的蓄电池标称容量(C_{10}或 C_5)。

4)进行蓄电池端电压水平的计算,应满足直流系统最低电压的要求。

——事故放电初期(1min)承受冲击负荷电流时蓄电池所能保持的电压值。

——任意事故放电阶段末期承受随机(5s)冲击负荷电流时蓄电池所能保持的电压值。

——任意事故放电阶段末期蓄电池所能保持的电压值。

2. 阶梯计算法(亦称电流换算法)[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 B.2.2]

1)按事故放电时间分别统计事故放电电流,确定负荷曲线。

2)根据蓄电池型式、放电终止电压和放电时间,确定相应的容量换算系数(K_c)。

3)根据事故放电电流,按事故放电阶段逐段进行容量计算。当有随机(5s)冲击负荷时,应叠加在第一阶段以外的计算容量最大的放电阶段。

4)选取与计算容量最大值接近的蓄电池标称容量(C_{10}或 C_5),作为蓄电池的选择容量。

B.2.1 电压控制法(亦称容量换算法)

B.2.1.2 容量选择计算

满足事故全停电状态下的持续放电容量

$$C_C = K_K \frac{C_{S.X}}{K_{CC}}(\mathrm{Ah}) \tag{10-1}$$

式中 C_C——蓄电池 10h 放电率计算容量(Ah)；

$C_{S.X}$——事故全停电状态下相对应的持续放电时间的放电容量；

K_K——可靠系数，取 1.40；

K_{CC}——容量系数，在指定的放电终止电压下，对应事故放电时间 xh，从附录表 B.6～表 B.14(原规范中，下同)中查出。

根据 C_C 计算值，选择接近该值的蓄电池标称容量 C_{10}。

B.2.1.3 电压水平计算

1. 事故放电初期(1min)承受冲击放电电流时，蓄电池所能保持的电压

$$K_{cbo} = K_K \frac{I_{cbo}}{I_{10}} \tag{10-2}$$

根据 K_{cho} 值，由本附录图 B.1～图 B.13 冲击曲线中的“0”曲线，查出单体电池电压值 U_d(见图 10-1)，则

$$U_D = nU_d \tag{10-3}$$

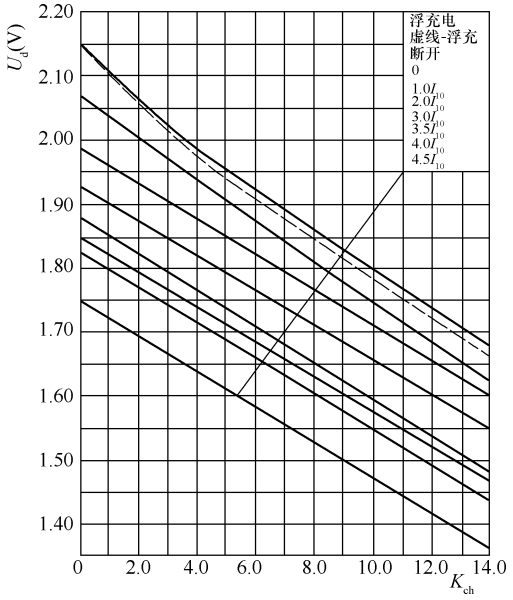


图 10-1 GF 型 2000Ah 及以下防酸式铅酸蓄电池持续放电 1.0h 后冲击放电曲线

2. 任意事故放电阶段末期，承受随机(5s)冲击放电电流时，蓄电池所能保持的电压

$$K_{m.x} = K_K \frac{C_{s.x}}{tI_{10}} \tag{10-4}$$

$$K_{chm.x} = K_K \frac{I_{chm}}{I_{10}} \tag{10-5}$$

由本附录图 B.1～图 B.13 冲击曲线中，选定事故放电时间 0.5h、1h 或 2h 后冲击放电曲线图，然后根据 $K_{m.x}$ 值找出相应的曲线，对应 $K_{chm.x}$ 值，查出单体电池电压值 U_d，则

$$U_D = nU_d \tag{10-6}$$

3. 任意事故放电阶段末期，蓄电池所能保持的电压

$$K_{m.x} = K_K \frac{C_{s.x}}{tI_{10}} \tag{10-7}$$

由本附录图 B.1～图 B.13 冲击曲线中，根据 $K_{m.x}$ 值找出相应的曲线，对应 $K_{chm.x}=0$

值,查出单体电池电压值U_d,则

$$U_D = nU_d \tag{10-8}$$

式中 C_{10}——蓄电池 10h 放电率标称容量(Ah);

$C_{s.x}$——xh 事故放电容量;

I_{cho}——事故放电初期(1min)冲击放电电流值,A;

I_{chm}——事故放电末期冲击放电电流值,A;

I_{10}——10h 放电率电流,A;

K_{cho}——事故放电初期(1min)冲击系数;

$K_{chm.x}$——xh 事故放电末期冲击系数;

$K_{m.x}$——任意事故放电阶段的 10h 放电率电流倍数;

K_K——可靠系数,取 1.10;

U_d——单体电池电压值,V;

U_D——蓄电池组出口端电压值,V;

n——蓄电池组的单体电池个数;

t——事故放电时间,h。

B.2.2 阶梯计算法(亦称电流换算法)

B.2.2.2 计算方法

1. 按负荷阶梯分段予以计算,取其中计算容量最大者。

2. 当有随机负荷(指末期冲击负荷)时,随机负荷单独计算所需容量,并叠加在第一阶段以外的计算容量最大的放电阶段,然后与第一阶段选择计算容量比较后取其大者。

B.2.2.3 计算步骤

1. 直流负荷统计。

2. 绘制负荷曲线。

3. 按照直流母线允许最低电压要求,确定单体蓄电池放电终止电压。计算容量时,根据不同蓄电池型式、终止电压和放电时间,从本附录表 B.6~表 B.14 中查找容量换算系数(K_C)。

按第一阶段计算容量

$$C_{C1} = K_K \frac{I_1}{K_C} \tag{10-9}$$

按第二阶段计算容量

$$C_{C2} \geqslant K_K \left[\frac{1}{K_{C1}} I_1 + \frac{1}{K_{C2}}(I_2 - I_1)\right] \tag{10-10}$$

按第三阶段计算容量

$$C_{C3} \geqslant K_K \left[\frac{1}{K_{C1}} I_1 + \frac{1}{K_{C2}}(I_2 - I_1) + \frac{1}{K_{C3}}(I_3 - I_{3-1})\right] \tag{10-11}$$

按第 n 阶段计算容量

$$C_{Cn} \geqslant K_K \left[\frac{1}{K_{C1}} I_1 + \frac{1}{K_{C2}}(I_2 - I_1) + \cdots \frac{1}{K_{Cn}}(I_n - I_{n-1})\right] \tag{10-12}$$

随机(5s)负荷计算容量

$$C_R = \frac{I_R}{K_{CR}} \tag{10-13}$$

将 C_R 叠加在 C_{C2}~C_{Cn} 中最大的阶段上,然后与 C_{C1} 比较,取其大者,即为蓄电池的计算

容量。

式中 $C_{C1}\sim C_{Cn}$——蓄电池 10h 放电率各阶段的计算容量(Ah)；

CR——随机负荷计算容量(Ah)；

I_1、$I_2\cdots I_n$——各阶段的负荷电流(A)；

I_R——随机负荷电流(A)；

K_K——可靠系数，取 1.40；

K_C——1min 放电时的容量换算系数(1/h)；

K_{CR}——随机(5s)负荷的容量换算系数(1/h)；

K_{C1}——各计算阶段中全部放电时间的容量换算系数(1/h)；

K_{C2}——各计算阶段中除第 1 阶梯时间外放电时间的容量换算系数(1/h)；

K_{C3}——各计算阶段中除第 1、2 阶梯时间外放电时间的容量换算系数(1/h)；

K_{Cn}——各计算阶段中最后 1 个阶梯放电时间的容量换算系数(1/h)。

10.1.5 充电装置的选择

10.1.5.1 充电装置型式和配置

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

4.4.1 充电装置型式

1. 高频开关充电装置。

2. 晶闸管充电装置。

4.4.2 充电装置配置

1.1 组蓄电池：

1)采用晶闸管充电装置时，宜配置 2 套充电装置；

2)采用高频开关充电装置时，宜配置 1 套充电装置，也可配置 2 套充电装置。

2.2 组蓄电池：

1)采用晶闸管充电装置时，宜配置 3 套充电装置；

2)采用高频开关充电装置时，宜配置 2 套充电装置，也可配置 3 套充电装置。

10.1.5.2 充电装置的技术特性要求

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

7.2.1 充电装置的技术特性要求

1. 应满足蓄电池组的充电和浮充电要求。

2. 应为长期连续工作制。

3. 充电装置应具有稳压、稳流及限流性能。

4. 应具有自动和手动浮充电、均衡充电和稳流、限流充电等功能。

5. 充电装置的交流电源输入宜为三相制，额定频率为 50Hz，额定电压为 380(1±10%)V。小容量充电装置的交流电源输入电压可采用单相 220(1±10%)V。

6.1 组蓄电池配置 1 套充电装置的直流系统，充电装置的交流电源宜设两个回路，运行中一回路工作，另一回路备用。当工作电源故障时，应自动切换到备用电源。

7. 充电装置的主要技术参数应满足表 10-3 的要求。

表 10-3 充电装置的主要技术参数表

项目 \ 型式	晶闸管		高频开关
	Ⅰ型	Ⅱ型	
稳压精度	≤±0.5%	≤±1%	≤±0.5%
稳流精度	≤±1%	≤±2%	≤±1%
波纹系数	≤1%	≤1%	≤0.5%
效率	≥75%	≥75%	≥90%
噪声	<60dB	<60dB	<55dB

8. 高频开关电源模块选择和配置要求[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 C.2]。

9. 高频开关电源模块基本性能要求如下。

1)均流:在多个模块并联工作状态下运行时,各模块承受的电流应能做到自动均分负载,实现均流;在 2 台及以上模块并联运行时,其输出的直流电流为额定值时,均流不平衡度应不大于±5%额定电流值。

2)功率因数:功率因数应不小于 0.90。

3)谐波电流含量:在模块输入端施加的交流电源符合标称电压和额定频率要求时,在交流输入端产生的各高次谐波电流含有率应不大于 30%。

4)振荡波抗扰度:应能承受《电磁兼容 试验和测量技术 振荡波抗扰度试验》(GB/T 17626.12—1998)表 2 中规定的三级的振荡波抗扰度。

5)静电放电抗扰度:应能承受《电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》(GB/T 17626.2—1998)表 2 中规定的三级的静电放电抗扰度。

10.1.5.3 充电装置的选择

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

7.2.2 充电装置的选择[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 C.1]

充电装置的额定电流的选择应满足下列条件:

1. 满足浮充电要求。浮充输出电流应按蓄电池自放电电流与经常负荷电流之和计算。

2. 有初充电要求的应满足初充电要求。初充电的输出电流:

1)铅酸蓄电池应按 $1.0I_{10}$～$1.25I_{10}$选择;

2)镉镍碱性蓄电池应按 $1.0I_5$～$1.25I_5$选择。

3. 满足均衡充电要求。均衡充电的输出电流:

1)铅酸蓄电池应按 $1.0I_{10}$～$1.25I_{10}$并叠加经常负荷电流选择;

2)镉镍碱性蓄电池应按 $1.0I_5$～$1.25I_5$并叠加经常负荷电流选择。

但当蓄电池脱开直流母线,单独进行均衡充电时,可不计入经常负荷电流。

7.2.3 充电装置的输出电压调节范围,应满足蓄电池放电末期和充电末期电压的要

求，参见表 10-4。

表 10-4 充电装置的输出电压和电流调节范围表

交流输入	相数			三相或单相			
	额定频率			50×(1±2%)Hz			
	额定电压			380×(1±10%)V/220×(1±10%)V			
直流输出	额定值	电压		220V	110V	48V	24V
		电流		5A、10A、16A、20A、25A、31.5A、40A、50A、63A、80A、100A、125A、160A、200A、250A、315A、400A、500A			
	充电	电压调节范围	阀控式	198V～260V	99V～130V	36V～60V	18V～30V
			防酸式	198V～300V	99V～150V	40V～72V	20V～36V
			镉镍式	198V～300V	99V～150V	40V～72V	20V～36V
		电流调节范围		30%～100%			
	浮充电	电压调节范围	阀控式	220V～240V	110V～120V	48V～52V	24V～26V
			防酸式	220V～240V	110V～120V	48V～52V	24V～26V
			镉镍式	220V～240V	110V～120V	48V～52V	24V～26V
		电流调节范围		0%～100%			
	均衡充电	电压调节范围	阀控式	230V～260V	115V～130V	48V～52V	24V～26V
			防酸式	230V～300V	115V～150V	48V～72V	24V～36V
			镉镍式	230V～300V	115V～150V	48V～72V	24V～36V
		电流调节范围		30%～100%			

C.1.1 充电装置额定电流选择

1. 满足浮充电要求

铅酸蓄电池：$I_r=0.01I_{10}+I_{jc}$

镉镍碱性蓄电池：$I_r=0.01I_5+I_{jc}$

2. 满足初充电要求

铅酸蓄电池：$I_r=1.0I_{10}\sim1.25I_{10}$

镉镍碱性蓄电池：$I_r=1.0I_5\sim1.25I_5$

3. 满足均衡充电要求

铅酸蓄电池：$I_r=(1.0I_{10}\sim1.25I_{10})+I_{jc}$

镉镍碱性蓄电池：$I_r=(1.0I_5\sim1.25I_5)+I_{jc}$

当均衡充电的蓄电池组不与直流母线连接时，$I_{jc}=0$。

式中 I_r——充电装置额定电流(A)；

I_{jc}——直流系统的经常负荷电流(A)；

I_{10}——铅酸蓄电池 10h 放电率电流(A)；

I_5——镉镍碱性蓄电池 5h 放电率电流(A)。

C.1.2 充电装置输出电压选择

$$U_r=nU_{cm}$$

式中 U_r——充电装置的额定电压(V)；

n——蓄电池组单体个数；

U_{cm}——充电末期单体蓄电池电压(V)(防酸式铅酸蓄电池为2.70V,阀控式铅酸蓄电池为2.40V,镉镍碱性蓄电池为1.70V)。

C.1.3 充电装置回路设备选择

充电装置回路设备选择见表10-5。

表10-5 充电装置回路设备选择表 (A)

充电装置额定电流	20	25	31.5	40	50	63	80
熔断器及刀开关额定电流	63					100	
直流断路器额定电流	32		63			100	
电流表测量范围	0～30		0～50		0～80		0～100
充电装置额定电流	100	125	160	200	250	315	400
熔断器及刀开关额定电流	160		200	300		400	630
直流断路器额定电流	225				400		630
电流表测量范围	0～150		0～200	0～300		0～400	0～500

10.1.6 高频开关电源整流装置选择

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

规范引用

C.2.1 高频开关电源模块配置和数量选择

1. 方式1:每组蓄电池配置一组高频开关电源模块,其模块选择方法如下

$$n=n_1+n_2$$

基本模块的数量

铅酸蓄电池:$n_1=\dfrac{1.0I_{10}\sim 1.25I_{10}}{I_{me}}+\dfrac{I_{jc}}{I_{me}}$

镉镍碱性蓄电池:$n_1=\dfrac{1.0I_5\sim 1.25I_5}{I_{me}}+\dfrac{I_{jc}}{I_{me}}$

附加模块的数量

$n_2=1$(当$n_1\leqslant 6$时);

$n_2=2$(当$n_1\geqslant 7$时)。

式中 I_{10}——铅酸蓄电池10h放电率电流(A);

I_5——镉镍碱性蓄电池5h放电率电流(A);

I_{jc}——经常负荷电流(A);

I_{me}——单个模块额定电流(A);

n——高频开关电源模块选择的数量,当模块选择数量不为整数时,可取邻近值,但模块数量宜≥3。

2. 方式2:一组蓄电池配置两组高频开关电源模块或两组蓄电池配置三组高频开关电源模块,其模块选择方法如下

铅酸蓄电池:$n=\dfrac{I_{10}}{I_{me}}$

镉镍碱性蓄电池:$n=\dfrac{I_5}{I_{me}}$

10.1.7 直流设备的选择和布置

10.1.7.1 蓄电池试验放电装置

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)



7.4.1 试验放电装置的额定电流：

1. 铅酸蓄电池应为 $1.10I_{10}$～$1.30I_{10}$。

2. 镉镍碱性蓄电池应为 $1.10I_5$～$1.30I_5$。

7.4.2 试验放电装置宜采用电热器件或有源逆变放电装置。

10.1.7.2 直流断路器

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)



7.5.1 直流断路器应具有速断保护和过电流保护功能。可带有辅助触点和报警触点。

7.5.2 直流断路器选择[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录E]

1. 额定电压应大于或等于回路的最高工作电压。

2. 额定电流应大于回路的最大工作电流。

1)蓄电池出口回路应按蓄电池1h放电率电流选择。并应按事故放电初期(1min)放电电流校验保护动作的安全性,且应与直流馈线回路保护电器相配合。

2)断路器电磁操动机构的合闸回路,可按0.3倍额定合闸电流选择,但直流断路器过载脱扣时间应大于断路器固有合闸时间。

3)直流电动机回路,可按电动机的额定电流选择。

3. 断流能力应满足直流系统短路电流的要求。

4. 各级断路器的保护动作电流和动作时间应满足选择性要求,考虑上、下级差的配合,且应有足够的灵敏系数。

10.1.7.3 熔断器

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)



7.6.1 直流回路采用熔断器作为保护电器时,应装设隔离电器,如刀开关,也可采用熔断器和刀开关合一的刀熔开关。

7.6.2 蓄电池出口回路熔断器应带有报警触点,其他回路熔断器,必要时可带有报警触点。

7.6.3 熔断器的选择

1. 额定电压应大于或等于回路的最高工作电压。

2. 额定电流应大于回路的最大工作电流。

1)蓄电池出口回路应按蓄电池1h放电率电流选择,并应与直流馈线回路保护电器相配合。

2)断路器电磁操动机构的合闸回路,可按0.2～0.3倍额定合闸电流选择,但熔断器的熔断时间应大于断路器固有合闸时间。

3)直流电动机回路,可按电动机的额定电流选择。

3. 断流能力应满足直流系统短路电流的要求。

4. 应满足各级熔断器动作时间的选择性要求,同时要考虑上、下级差的配合。

10.1.7.4 刀开关

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

7.7.1 额定电压应大于或等于回路的最高工作电压。

7.7.2 额定电流应大于回路的最大工作电流。

1. 蓄电池出口回路应按蓄电池 1h 放电率电流选择。

2. 断路器电磁操动机构的合闸回路,可按 0.2～0.3 倍的额定合闸电流选择。

3. 母线分段开关和联络回路,可按全部负荷的 60%选择。

7.7.3 动稳定应满足直流系统短路电流的要求。

7.7.4 必要时刀开关可带有辅助触点。

10.1.7.5 降压装置

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

7.8.1 降压装置宜由硅元件构成,应有防止硅元件开路的措施。

7.8.2 硅元件的额定电流应满足所在回路最大持续负荷电流的要求,并应有承受冲击电流的短时过载和承受反向电压的能力。

10.1.7.6 直流柜

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

7.9.1 直流柜采用加强型结构,防护等级不低于 IP20。

7.9.2 直流柜分为直流电源进线柜、直流馈线柜、充电装置柜、蓄电池柜以及直流分电柜。

7.9.3 直流柜外形尺寸宜采用 800mm×600mm×2260mm(宽×深×高)。

7.9.4 直流柜正面可按模数分隔成多个功能单元格,各自独立,通过插件或插头实现相互间的联系。每一单元格集中布置 1 个单元的设备,操作设备布置在中央,测量表计可布置在侧上方。

7.9.5 直流柜正面操作设备的布置高度不应超过 1800mm,距地高度不应低于 400mm。

7.9.6 直流柜内电流在 63A 及以下的直流馈线,应经电力端子出线。端子宜装设在柜的两侧或中部下方,以便于电缆连接和装设接地检测装置的传感器。

7.9.7 直流柜内主母线宜采用阻燃绝缘铜母线,应按蓄电池 1h 放电率电流选择截面,并应进行短路电流热稳定校验和按最大负荷电流校验,其温度不超过绝缘体的允许事故过负荷温度[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 F]。

7.9.8 直流柜内主母线及其相应回路,应能满足直流母线出口短路时的动稳定要求。

1. 蓄电池容量为 800Ah 及以下的直流系统,可按 10kA 短路电流考虑;

2. 蓄电池容量为 800～1600Ah 的直流系统,可按 20kA 短路电流考虑;

3. 蓄电池容量大于 1600Ah 时,应进行短路电流计算[参见《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)附录 G.1]。

7.9.9 直流柜体应设有保护接地，接地处应有防锈措施和明显标志。

7.9.10 蓄电池柜隔架最低距地不小于150mm，最高距地不超过1700mm。

10.1.7.7 直流电源成套装置

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)



7.10.1 直流电源成套装置包括蓄电池组、充电装置和直流馈线，根据设备体积大小，可以合并组柜或分别设柜，其有关技术要求应符合本规程的相关规定。

7.10.2 直流电源成套装置宜采用阀控式密封铅酸蓄电池、高倍率镉镍碱性蓄电池或中倍率镉镍碱性蓄电池。蓄电池组容量不宜太大：

1. 阀控式密封铅酸蓄电池，容量为200Ah及以下；
2. 高倍率镉镍碱性蓄电池，容量为40Ah及以下；
3. 中倍率镉镍碱性蓄电池，容量为100Ah及以下。

10.1.7.8 直流柜的布置

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)



8.1.1 直流系统的直流电源进线柜、直流馈线柜、充电装置柜宜布置在蓄电池室附近专用的直流电源室、电气继电器室或电气控制室内。

8.1.2 直流电源成套装置可布置在电气控制室，但室内应保持良好通风。

8.1.3 直流分电柜应布置在该直流负荷中心附近。

8.1.4 直流柜前后应留有运行和检修通道，通道宽度见表10-6。

表10-6 运行和检修通道宽度表

距离名称	采用尺寸/mm	
	一般	最小
柜正面至柜正面	1800	1400
柜正面至柜背面	1500	1200
柜背面至柜背面	1500	1000
柜正面至墙	1500	1200
柜背面至墙	1200	1000
边柜至墙	1200	800
主要通道	1600～2000	1400

10.1.7.9 阀控式密封铅酸蓄电池组的布置

规范引用 《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)



8.2.1 容量在200Ah以上时宜设专用的蓄电池室。专用蓄电池室宜布置在0m层。

8.2.2 胶体式的阀控式密封铅酸蓄电池，宜采用立式安装；贫液吸附式的阀控式密封铅酸蓄电池，可采用卧式、倾斜式或立式安装。

8.2.3 蓄电池安装宜采用钢架组合结构，多层迭放。应便于安装、维护和更换蓄电池。

台架的底层距地面为150～300mm,整体高度不宜超过1600mm。

8.2.4 当蓄电池室采用瓷砖台或水泥台安装蓄电池时,台高为250～300mm。瓷砖台或水泥台的台与台之间应设有运行和检修通道,通道宽度不得小于800mm。

8.2.5 同一层或同一台上的蓄电池间宜采用有绝缘的或有护套的连接条连接,不同一层或不同一台上的蓄电池间采用电缆连接。

10.1.7.10 防酸式铅酸蓄电池组和镉镍碱性蓄电池组的布置

《电力工程直流系统设计技术规程》(DL/T 5044—2004)

8.3.1 防酸式铅酸蓄电池组和容量为100Ah以上的中倍率镉镍碱性蓄电池组应设置专用的蓄电池室。专用蓄电池室宜布置在0m层。

8.3.2 蓄电池应采用立式安装,宜安装在瓷砖台或水泥台上,台高为250～300mm。台与台之间应设有运行和检修通道,通道宽度不得小于800mm。蓄电池与大地之间应有绝缘措施。

8.3.3 中倍率镉镍碱性蓄电池组的端电池宜靠墙布置。

8.3.4 蓄电池有液面指示计和比重计的一面,应朝向运行和检修通道。

8.3.5 在同一台上的蓄电池间宜采用有绝缘的或有护套的连接条连接,不在同一台上的蓄电池间采用电缆连接。

8.3.6 蓄电池的裸露导电部分间的距离,当其两部分间的正常电压(非充电时)超过65V但不大于250V时,不应小于800mm,电压超过250V时,不应小于1000mm。导线与建筑物或其他接地体之间的距离不应小于50mm,母线支持点间的距离不应大于2000mm。

10.2 UPS电源的设计要求

10.2.1 概述

《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(1)UPS的型式及工作原理简述。小容量(5kVA以下)的UPS电源分为后备式和在线式两种。作为交流操作的控制、保护、信号电源应选用在线式的UPS电源,其工作原理框图见图10-2。

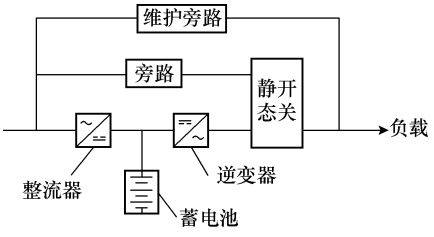


图10-2 在线式UPS原理框图

UPS首先由系统电源供电，经调制、整流、稳压将交流220V转换为直流，并给蓄电池充电，然后由逆变器将直流电转换成交流电，并保证输出电源的电压及频率能满足负载的要求，同时控制逻辑与静态开关做不间断的通信，跟踪旁路输出电压。当系统电源发生故障时，整流器不再输出任何电源，由蓄电池放电给逆变器，再由逆变器将蓄电池放出的直流电转换成交流电。当逆变器出现故障、过载等情况时，逆变器自动与负载断开，通过旁路向负载供电。如UPS系统需要进行维护，则由维护旁路向负载供电。

10.2.2 容量计算

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(2)UPS电源容量的选择。当系统电源发生故障时，由UPS提供控制、操作及信号电源，而不考虑储能电源的容量，所以UPS电源容量主要考虑以下几个方面的负载：

1)由系统电源供电时，正常的控制操作及信号回路所消耗的容量C_1。

2)当系统发生故障时，两台断路器同时分闸所消耗的容量C_2。

3)系统电源正常供电或发生故障时一台断路器的合闸电磁铁的额定容量C_3。

正常操作时所需容量为

$$C = K_{rel}(C_1 + C_3) \tag{10-14}$$

事故操作时所需容量为

$$C' = K_{rel}(C_2 + C_3) \tag{10-15}$$

式中 K_{rel}——可靠系数，取1.1～1.2。

取两式中较大者作为UPS的选择容量。考虑到交流操作的经济性和实用性，UPS电源的容量不宜超过3kVA。

带UPS电源方案一般适用于民用建筑供电系统中，当一次接线简单且断路器台数不多时选用，同时亦不考虑分段断路器自投及出线自动重合闸装置。值得注意的是，UPS电源作为开关恒的控制、保护及信号电源，对配电装置正确动作，尽快切除故障回路起着极为重要的作用。因此，UPS电源本身的可靠性及运行维护的合理性非常重要。为了进一步增加UPS电源的可靠性，可使用两套UPS电源装置。两套UPS装置可并联也可串联使用。当两套UPS装置并联时，需采取并联闭锁措施。

10.3 交流操作电源的设计要求

10.3.1 概述

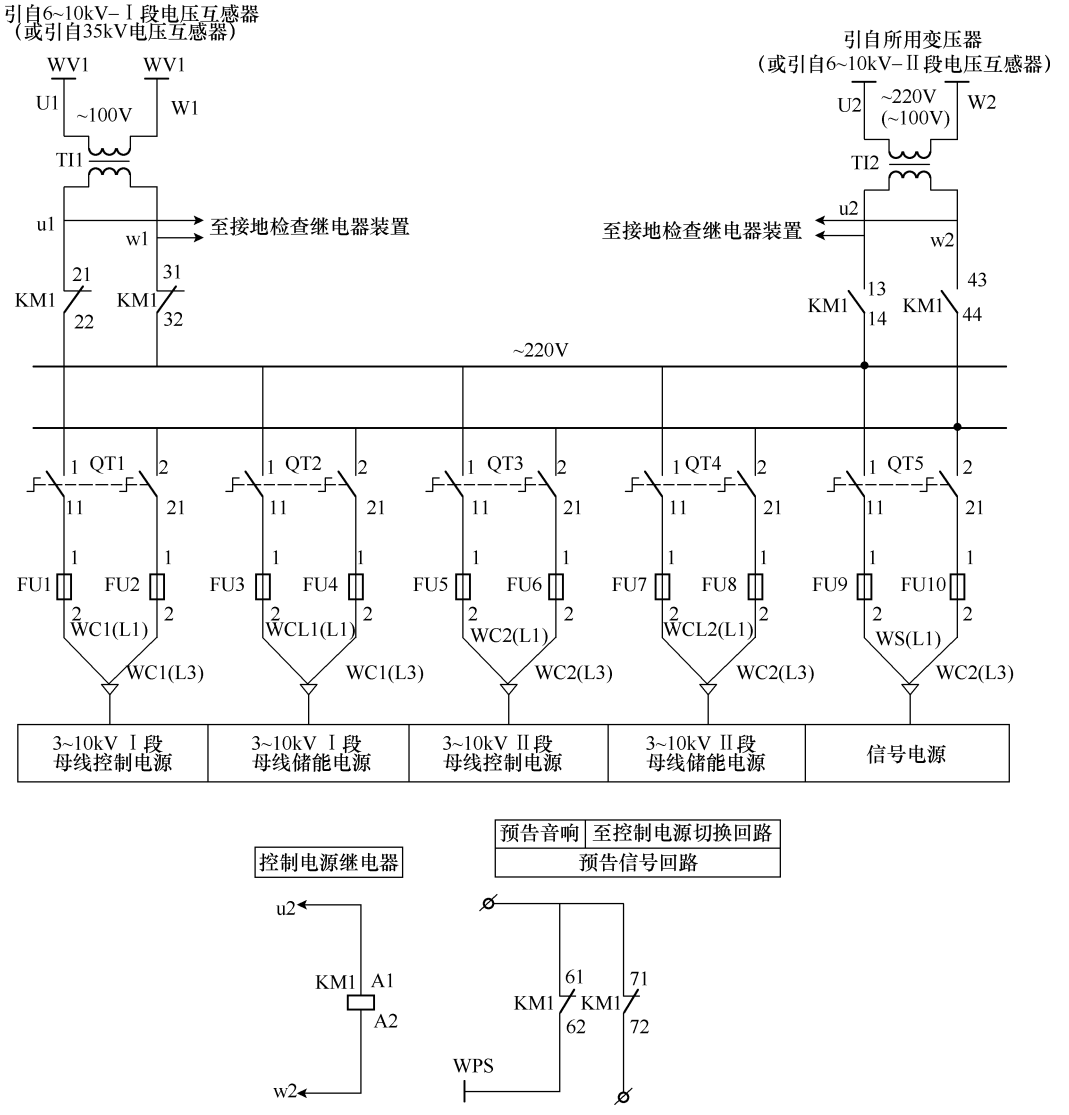
规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

继电保护为交流操作时，保护跳闸通常采用去分流方式，即靠断路器弹簧操动机构中的过电流脱扣器直接跳闸，能源来自电流互感器而不需要另外的电源。因此，交流操作电源主要是供给控制、合闸和分励信号等回路使用。交流操作的电源为交流220V，它有两种形式。

10.3.2 常用的交流操作电源

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

常用的交流操作电源接线如图 10-3 所示。图中两路电源(工作和备用)可以进行切换,其中一路由电压互感器经 100/220V 变压器供给电源,而另一路由所用变压器或其他低压线路经 220/220V 变压器(也可由另一段母线电压互感器经 100/220V 变压器)供给电源;两路电源中的任一路均可作为工作电源,另一路作为备用电源。控制电源采用不接地系统,并设有绝缘检查装置。



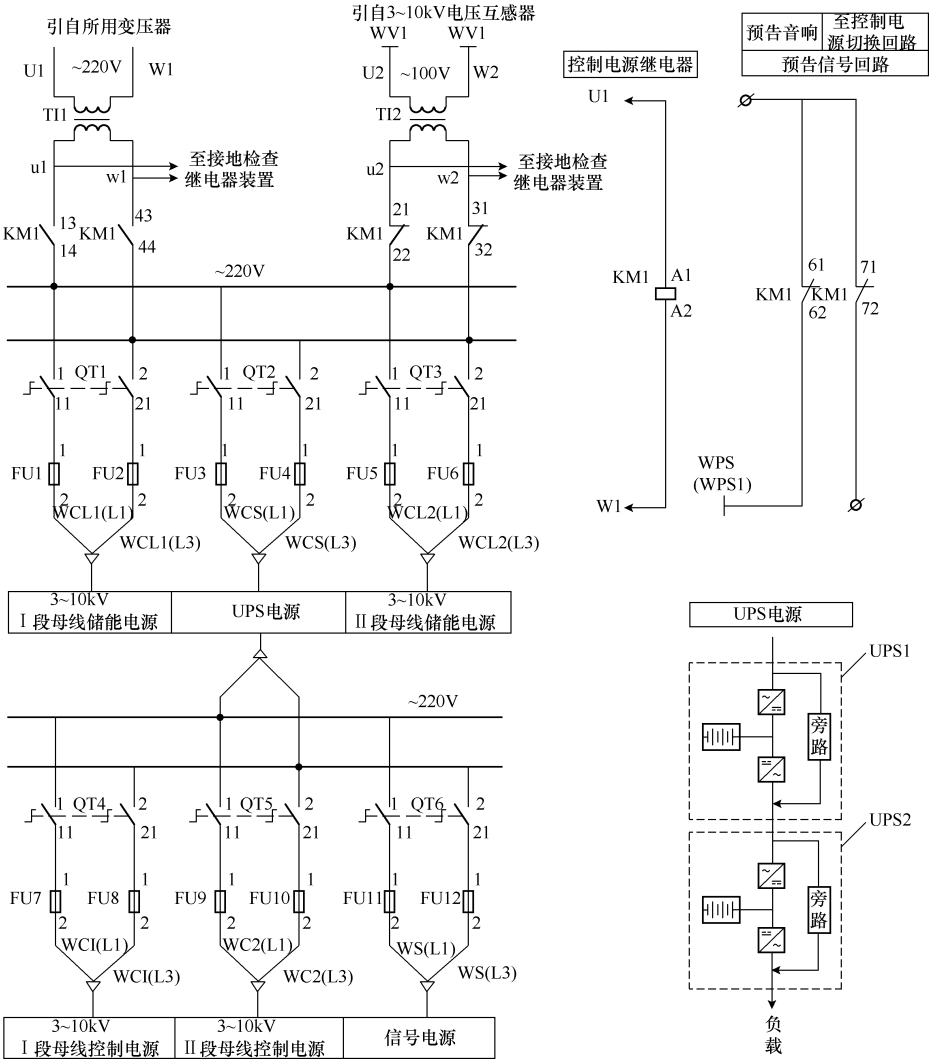
TI1、I2—中间变压器,BK—400 型;KM1—中间继电器,CA2—DN122MLA1—D22 型;
QT1~5—组合开关,HZ15—10/201 型;FU1~FU10—熔断器,RL6—25/10 型

图 10-3 交流操作电源接线图

10.3.3 带 UPS 的交流操作电源

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

由于上述方式获得的电源是取自系统电压,当被保护元件发生短路故障时,短路电流很大,而电压却很低,断路器将会失去控制、信号、合闸以及分励脱扣的电源。所以交流操作的电源可靠性较低。随着交流不间断电源技术的发展和成本的降低,使交流操作应用交流不间断电源(UPS)成为可能。这样就增加了交流操作电源的可靠性。由于操作电源比较可靠,继电保护可以采用分励脱扣器线圈跳闸的保护方式,不再用电流脱扣器线圈跳闸的保护方式,从而可免去交流操作继电保护两项特殊的整定计算,即继电器强力切换接点容量检验和脱扣器线圈动作可靠性校验。带 UPS 的交流操作电源接线见图 10-4。



TI1、I2—中间变压器,BK—400 型;KM1—中间继电器,CA2—DN122MLA1—D22 型;
QT1~6—组合开关,HZ15—10/201 型;FU1~FU10—熔断器,RL6—25/10 型

图 10-4 带 UPS 的交流操作电源接线图

从图中可以看到,当系统电源正常时,由系统电源小母线向储能回路、控制及信号回路(通过 UPS 电源)供电,同时可向 UPS 电源进行充电或浮充电。当系统发生故障时,外电源消失,由 UPS 电源向控制回路及信号回路供电,使断路器可靠跳闸并发出信号。

11 防雷及过电压保护

11.1 电力系统过电压的种类和过电压水平

11.1.1 系统运行中出现于设备绝缘上的电压

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)



3.2.1 系统运行中出现于设备绝缘上的电压有：

a)正常运行时的工频电压；

b)暂时过电压(工频过电压、谐振过电压)；

c)操作过电压；

d)雷电过电压。

3.2.2 相对地暂时过电压和操作过电压的标幺值如下：

a)工频过电压的 1.0p.u. $=U_m/\sqrt{3}$；

b)谐振过电压和操作过电压的 1.0p.u. $=\sqrt{2}U_m/\sqrt{3}$。

注：U_m为系统最高电压。

3.2.3 系统最高电压的范围：

a)范围Ⅰ，3.5kV$\leqslant U_m \leqslant$252kV；

b)范围Ⅱ，$U_m>$252kV。

11.1.2 暂时过电压、操作过电压水平

11.1.2.1 工频过电压

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)



4.1.1-b) 对范围Ⅰ中的 110kV 及 220kV 系统，工频过电压一般不超过 1.3p.u.；3～10kV 和 35～66kV 系统，一般分别不超过 $1.1\sqrt{3}$p.u. 和$\sqrt{3}$p.u.。

11.1.2.2 操作过电压

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

10.1.10 范围Ⅰ的各电压级相对地计算用最大操作过电压的标幺值应该选取下列数值:

35kV 及以下低电阻接地系统	3.2
66kV 及以下(除低电阻接地系统外)	4.0
110kV 及 220kV	3.0

3～220kV 电力系统,相间操作过电压宜取相对地过电压的 1.3～1.4 倍。

当采用金属氧化物避雷器限制操作过电压时,相对地及相间计算用最大操作过电压的标幺值需经研究确定。

11.1.3 绝缘配合

11.1.3.1 绝缘配合原则

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

10.1.1 按系统中出现的各种电压和保护装置的特性来确定设备绝缘水平,即进行绝缘配合时,应全面考虑设备造价、维修费用以及故障损失三个方面,力求取得较高的经济效益。

不同系统,因结构不同以及在不同的发展阶段,可以有不同的绝缘水平。

10.1.2 工频运行电压和暂时过电压下的绝缘配合:

a)工频运行电压下电气装置电瓷外绝缘的爬电距离应符合相应环境污秽分级条件下的爬电比距要求。

b)变电所电气设备应能承受一定幅值和时间的工频过电压和谐振过电压。

10.1.3 操作过电压下的绝缘配合:

a)范围Ⅱ的架空线路确定其操作过电压要求的绝缘水平时,可用将过电压幅值和绝缘强度作为随机变量的统计法,并且仅考虑空载线路合闸、单相重合闸和成功的三相重合闸(如运行中使用时)过电压。

b)范围Ⅱ的变电所电气设备操作冲击绝缘水平以及变电所绝缘子串、空气间隙的操作冲击绝缘强度,以避雷器相应保护水平为基础,进行绝缘配合。配合时,对非自恢复绝缘采用惯用法;对自恢复绝缘则仅将绝缘强度作为随机变量。

c)范围Ⅰ的架空线路和变电所绝缘子串、空气间隙的操作过电压要求的绝缘水平,以计算用最大操作过电压为基础进行绝缘配合。将绝缘强度作为随机变量处理。

10.1.4 雷电过电压下的绝缘配合。

变电所中电气设备、绝缘子串和空气间隙的雷电冲击强度,以避雷器雷电保护水平为基础进行配合。配合时,对非自恢复绝缘采用惯用法,对自恢复绝缘仅将绝缘强度作为随机变量。

10.1.5 用于操作雷电过电压绝缘配合的波形:

a)操作冲击电压波。至最大值时间 250μs,波尾 2500μs。

注：1. 有绕组的电气设备除外。

2. 当采用其他波形时，绝缘配合裕度应符合本标准要求。

b)雷电冲击电压波。波头时间 1.2μs，波尾 50μs。

10.1.6 进行绝缘配合时，对于范围Ⅱ的送电线路、变电所的绝缘子串、空气间隙在各种电压下的绝缘强度，宜采用仿真型塔(构架)试验数据。

10.1.7 本标准中送电线路、变电所绝缘子串及空气间隙的绝缘配合公式均按标准气象条件给出。当送电线路、变电所因海拔高度引起气象条件变化而异于标准状态时，可参照《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)附录 D 校正(海拔高度 1000m 及以下地区，按 1000m 条件校正)，以满足绝缘配合要求，并有如下规定：

a)空气间隙。不考虑雨的影响，仅进行相对空气密度和湿度的校正。

b)绝缘子串。工频污秽放电电压暂不进行校正。

c)操作冲击电压波放电电压。按以下两种方法校正，且按严苛条件取值：

1)考虑雨使绝缘子正极性冲击电压波放电电压降低 5%(或采用实测数据)，再进行相对空气密度校正；

2)不考虑雨的影响，但进行相对空气密度和湿度的校正。

10.1.8 本标准中关于变电所电气设备绝缘配合的要求，适用于设备安装点海拔高度不超过 1000m。当设备安装点海拔高度超过 1000m 时，可参照 10.1.7 考虑对设备外绝缘的耐受电压要求。

10.1.9 污秽区电瓷外绝缘的爬电距离按《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 1 部分：定义、信息和一般原则》(GB/T 26218.1—2010)和《污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第 2 部分：交流系统用瓷和玻璃绝缘子》(GB/T 26218.2—2010)执行。

11.1.3.2 绝缘配合要求

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

10.2.4 海拔不超过 1000m 地区架空送电线路绝缘子串及空气间隙不应小于表 11-1 所列数值。在进行绝缘配合时，考虑杆塔尺寸误差、横担变形和拉线施工误差等不利因素，空气间隙应留有一定裕度。

表 11-1 线路绝缘子每串最少片数和最小空气间隙 (cm)

系统标称电压/kV	20	35	66	110	220	330	500
雷电过电压间隙	35	45	65	100	190	230(260)	330(370)
操作过电压间隙	12	25	50	70	145	195	270
工频电压间隙	5	10	20	25	55	90	130
悬垂绝缘子串的绝缘子个数	2	3	5	7	13	17(19)	25(28)

注：①绝缘子型式：一般为 XP 型；330kV、500kV 括号外为 XP_3 型。

②绝缘子适用于 0 级污秽。污秽地区绝缘加强时，间隙一般仍用表中的数值。

③330kV、500kV 括号内雷电过电压间隙与括号内绝缘子个数相对应，适用于发电厂、变电所进线保护段杆塔。

10.3.4 变电所的最小空气间隙。

a)海拔不超过1000m地区变电所工频电压要求的最小空气间隙如表11-2所示。其中对于330kV和500kV为参考值。

表11-2 变电所工频电压要求的最小空气间隙 (cm)

系统标称电压/kV	相对地	相间
35	15	15
66	30	30
110	30	50
220	60	90
330	110	170
500	160	240

b)对于海拔不超过1000m地区变电所操作和雷电过电压要求的最小空气间隙如表11-3所示。其中对于330kV和500kV为参考值。

表11-3 变电所操作和雷电过电压要求的间隙 (cm)

系统标称电压/kV	操作过电压		雷电过电压	
	相对地	相 间	相对地	相 间
35	40	40	40	40
66	65	65	65	65
110	90	100	90	100
220	180	200	180	200
330	230	270	220	240
500	350	430	320	360

c)海拔不超过1000m地区3～20kV高压配电装置的最小户外、户内的相对地、相间空气间隙如表1-4所示。

表11-4 3～20kV高压配电装置的空气间隙 (cm)

系统标称电压/kV	户外	户内
3	20	7.5
6	20	10
10	20	12.5
15	30	15
20	30	18

注:相对地、相间取同一值。

10.4.5 电气设备耐受电压的选择。

对3～500kV电气设备随其所在系统接地方式的不同、暂时过电压的差别及所选用的保护用阀式避雷器型式、特性的差异，将有不同的耐受电压要求。以下各表所列耐受电压数据适用于海拔高度1000m及以下地区的电气设备。

a)电压范围Ⅰ(3.5kV＜U_m≤252kV)电气设备选用的耐受电压。表11-5给出了相应数据。

表11-5 电压范围Ⅰ电气设备选用的耐受电压

系统标称电压/kV	设备最高电压/kV	设备类别	雷电冲击耐受电压/kV				短时(1min)工频耐受电压(有效值)/kV			
			相对地	相间	断口		相对地	相间	断口	
					断路器	隔离开关			断路器	隔离开关
3	3.6	变压器	40	40	—	—	20	20	—	—
		开关	40	40	40	46	25	25	25	27
6	7.2	变压器	60(40)	60(40)	—	—	25(20)	25(20)	—	—
		开关	60(40)	60(40)	60	70	30(20)	30(20)	30	34
10	12	变压器	75(60)	75(60)	—	—	35(28)	35(28)	—	—
		开关	75(60)	75(60)	75(60)	85(70)	42(28)	42(28)	42(28)	49(35)
15	18	变压器	105	105	—	—	45	45	—	—
		开关	105	105	115	—	46	46	56	—
20	24	变压器	125(95)	125(95)	—	—	55(50)	55(50)	—	—
		开关	125	125	125	145	65	65	65	79
35	40.5	变压器	185/200	185/200	—	—	80/85	80/85	—	—
		开关	185	185	185	215	95	95	95	118
66	72.5	变压器	350	350	—	—	150	150	—	—
		开关	325	325	325	375	155	155	155	197
110	126	变压器	450/480	450/480	—	—	185/200	185/200	—	—
		开关	450、550	450、550	450、550	520、630	200、230	200、230	200、230	225、265
220	252	变压器	850、950	850、950	—	—	360、395	360、395	—	—
		开关	850、950	850、950	850、950	950、1050	360、395	360、395	360、395	410、460

注：①分子、分母数据分别对应外绝缘和内绝缘。

②括号内和外数据分别对应是和非低电阻接地系统。

③开关类设备将设备最高电压称作“额定电压”。

b)电压范围Ⅱ(U_m＞252kV)电气设备选用的耐受电压。表11-6给出了相应数据。

表 11-6 电压范围Ⅱ电气设备选用的耐受电压

系统标称电压/kV	设备最高电压/kV	雷电冲击耐受电压/kV		操作冲击耐受电压/kV			短时(1min)工频耐受电压(有效值)/kV	
		相对地	断口	相对地	相间	断口	相对地	断口
330	363	1050	1050+205	850	1300	850+295	460	520
		1175	1175+205	950	1425		510	580
500	550	1425	1425+315	1050	1675	1050+450	630	790
		1550	1550+315	1175	1800		680	790

c)电力变压器、高压并联电抗器中性点及其接地电抗器选用的耐受电压。表 11-7 给出了相应数据。

表 11-7 电力变压器、高压并联电抗器中性点及其接地电抗器选用的耐受电压

系统标称电压/kV	系统最高电压/kV	中性点接地方式	雷电全波和截波耐受电压	短时工频耐受电压(有效值)/kV
110	126	—	250	95
220	252	直接接地	185	85
		经接地电抗器接地	185	85
		不接地	400	200
330	363	直接接地	185	85
		经接地电抗器接地	250	105
500	500	直接接地	185	85
		经接地电抗器接地	325	140

注:中性点经接地电抗器接地时,其电抗值与变压器或高压并联电抗器的零序电抗之比小于等于 1/3。

11.2 交流电气装置过电压保护设计要求及限制措施

11.2.1 雷电过电压及保护设计

11.2.1.1 雷电过电压

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

5.1.1 设计和运行中应考虑直接雷击、雷电反击和感应雷电过电压对电气装置的危害。

5.1.2 架空线路上的雷电过电压。

a)距架空线路 S>65m 处,雷云对地放电时,线路上产生的感应过电压最大值可按下式计算:

$$U_i \approx 25\frac{Ih_c}{S} \tag{11-1}$$

式中 U_i——雷击大地时感应过电压最大值(kV)；

I——雷电流幅值(一般不超过 100)(kA)；

h_c——导线平均高度(m)；

S——雷击点与线路的距离(m)。

线路上的感应过电压为随机变量，其最大值可达 300～400kV，一般仅对 35kV 及以下线路的绝缘有一定威胁。

b)雷击架空线路导线产生的直击雷过电压，可按下式确定：

$$U_S \approx 100I \tag{11-2}$$

式中 U_S——雷击点过电压最大值(kV)。

雷直击导线形成的过电压易导致线路绝缘闪络。架设避雷线可有效减少雷直击导线的概率。

c)因雷击架空线路避雷线、杆顶形成作用于线路绝缘的雷电反击过电压，与雷电参数、杆塔型式、高度和接地电阻等有关。

宜适当选取杆塔接地电阻，以减少雷电反击过电压的危害。

5.1.3 发电厂和变压所内的雷电过电压来自雷电对配电装置的直接雷击、反击和架空进线上出现的雷电侵入波。

a)应该采用避雷针或避雷线对高压配电装置进行直击雷保护并采取措施防止反击。

b)应该采取措施防止或减少发电厂和变电所近区线路的雷击闪络并在厂、所内适当配置阀式避雷器，以减少雷电侵入波过电压的危害。

c)按本标准要求对采用的雷电侵入波过电压保护方案校验时，校验条件为保护接线一般应该保证 2km 外线路导线上出现雷电侵入波过电压时，不引起发电厂和变电所电气设备绝缘损坏。

7.1.1 发电厂和变电所的直击雷过电压保护可采用避雷针或避雷线。下列设施应装设直击雷保护装置：

a)屋外配电装置，包括组合导线和母线廊道；

b)火力发电厂的烟囱、冷却塔和输煤系统的高建筑物；

c)油处理室、燃油泵房、露天油罐及其架空管道、装卸油台、易燃材料仓库等建筑物；

d)乙炔发生站、制氢站、露天氢气罐、氢气罐储存室、天然气调压站、天然气架空管道及其露天贮罐；

e)多雷区的列车电站。

7.1.2 发电厂的主厂房、主控制室和配电装置室一般不装设直击雷保护装置。为保护其他设备而装设的避雷针，不宜装在独立的主控制室和 35kV 及以下变电所的屋顶上。但采用钢结构或钢筋混凝土结构等有屏蔽作用的建筑物的车间变电所可不受此限制。

雷电活动特殊强烈地区的主厂房、主控制室和配电装置室宜设直击雷保护装置。

主厂房如装设避直击雷保护装置或为保护其他设备而在主厂房上装设避雷针，应采取加强分流、装设集中接地装置、设备的接地点尽量远离避雷针接地引下线的入地点、避雷针接地引下线尽量远离电气设备等防止反击的措施，并宜在靠近避雷针的发电机出口处装设一组旋转电机阀式避雷器。

主控制室、配电装置室和 35kV 及以下变电所的屋顶上如装设直击雷保护装置时，若为金属屋顶或屋顶上有金属结构，则将金属部分接地；若屋顶为钢筋混凝土结构，则将其焊接

成网接地;若结构为非导电的屋顶时,则采用避雷带保护,避雷带的网格为 8～10m,每隔 10～20m 设引下线接地。

上述接地引下线应与主接地网连接,并在连接处加装集中接地装置。

峡谷地区的发电厂和变电所宜用避雷线保护。

已在相邻高建筑物保护范围内的建筑物或设备,可不装设直击雷保护装置。

屋顶上的设备金属外壳、电缆金属外皮和建筑物金属构件均应接地。

7.1.3 露天布置的 GIS 的外壳不需装设直击雷保护装置,但应接地。

7.1.4 发电厂和变电所有爆炸危险且爆炸后可能波及发电厂和变电所内主设备或严重影响发供电的建构筑物(如制氢站、露天氢气贮罐、氢气罐储存室、易燃油泵房、露天易燃油贮罐、厂区内的架空易燃油管道、装卸油台和天然气管道以及露天天然气贮罐等),应用独立避雷针保护,并应采取防止雷电感应的措施。

避雷针与易燃油贮罐和氢气天然气等罐体及其呼吸阀等之间的空气中距离,避雷针及其接地装置与罐体、罐体的接地装置和地下管道的地中距离应符合 7.1.11 a)及 7.1.11 b)的要求。避雷针与呼吸阀的水平距离不应小于 3m,避雷针尖高出呼吸阀不应小于 3m。避雷针的保护范围边缘高出呼吸阀顶部不应小于 2m。避雷针的接地电阻不宜超过 10Ω。在高土壤电阻率地区,如接地电阻难以降到 10Ω,允许采用较高的电阻值,但空气中距离和地中距离必须符合 7.1.11 的要求。避雷针与 5000m^3 以上贮罐呼吸阀的水平距离不应小于 5m,避雷针尖高出呼吸阀不应小于 5m。

露天贮罐周围应设闭合环形接地体,接地电阻不应超过 30Ω(无独立避雷针保护的露天贮罐不应超过 10Ω),接地点不应小于两处,接地点间距不应大于 30m。架空管道每隔 20～25m 应接地一次,接地电阻不应超过 30Ω。易燃油贮罐的呼吸阀、易燃油和天然气贮罐的热工测量装置应进行重复接地,即与贮罐的接地体用金属线相连。不能保持良好电气接触的阀门、法兰、弯头等管道连接处应跨接。

7.1.5 7.1.1 中所述设施上的直击雷保护装置包括兼作接闪器的设备金属外壳、电缆金属外皮、建筑物金属构件等,其接地可利用发电厂或变电所的主接地网,但应在直击雷保护装置附近装设集中接地装置。

7.1.6 独立避雷针(线)宜设独立的接地装置。在非高土壤电阻率地区,其接地电阻不宜超过 10Ω。当有困难时,该接地装置可与主接地网连接,但避雷针与主接地网的地下连接点至 35kV 及以下设备与主接地网的地下连接点之间,沿接地体的长度不得小于 15m。

独立避雷针不应设在人经常通行的地方,避雷针及其接地装置与道路或出入口等的距离不宜小于 3m,否则应采取均压措施,或铺设砾石或沥青地面,也可铺设混凝土地面。

7.1.7 110kV 及以上的配电装置,一般将避雷针装在配电装置的架构或房顶上,但在土壤电阻率大于 1000Ω·m 的地区,宜装设独立避雷针。否则,应通过验算,采取降低接地电阻或加强绝缘等措施。

66kV 的配电装置,允许将避雷针装在配电装置的架构或房顶上,但在土壤电阻率大于 500Ω·m 的地区,宜装设独立避雷针。

35kV 及以下高压配电装置架构或房顶不宜装避雷针。

装在架构上的避雷针应与接地网连接,并应在其附近装设集中接地装置。装有避雷针的架构上,接地部分与带电部分间的空气中距离不得小于绝缘子串的长度;但在空气污秽地区,如有困难,空气中距离可按非污秽区标准绝缘子串的长度确定。

除水力发电厂外，装设在架构（不包括变压器门形架构）上的避雷针与主接地网的地下连接点至变压器接地线与主接地网的地下连接点之间，沿接地体的长度不得小于15m。

7.1.8 除水力发电厂外，在变压器门形架构上和在离变压器主接地线小于15m的配电装置的架构上，当土壤电阻率大于350Ω·m时，不允许装设避雷针、避雷线；如不大于350Ω·m，则应根据方案比较确有经济效益，经过计算采取相应的防止反击措施，并至少遵守下列规定，方可在变压器门形架构上装设避雷针、避雷线：

a）装在变压器门形架构上的避雷针应与接地网连接，并应沿不同方向引出3～4根放射形水平接地体，在每根水平接地体上离避雷针架构3～5m处装设一根垂直接地体；

b）直接在3～35kV变压器的所有绕组出线上或在离变压器电气距离不大于5m条件下装设阀式避雷器。

高压侧电压35kV变电所，在变压器门形架构上装设避雷针时，变电所接地电阻不应超过4Ω（不包括架构基础的接地电阻）。

7.1.9 110kV及以上配电装置，可将线路的避雷线引接到出线门形架构上，土壤电阻率大于1000Ω·m的地区，应装设集中接地装置。

35kV、66kV配电装置，在土壤电阻率不大于500Ω·m的地区，允许将线路的避雷线引接到出线门形架构上，但应装设集中接地装置。在土壤电阻率大于500Ω·m的地区，避雷线应架设到线路终端杆塔为止。从线路终端杆塔到配电装置的一档线路的保护，可采用独立避雷针，也可在线路终端杆塔上装设避雷针。

7.1.10 火力发电厂烟囱附近的引风机及其电动机的机壳应与主接地网连接，并应装设集中接地装置，该接地装置宜与烟囱的接地装置分开。如不能分开，引风机的电源线应采用带金属外皮的电缆，电缆的金属外皮应与接地装置连接。机械通风冷却塔上电动机的电源线、装有避雷针和避雷线的架构上的照明灯电源线，均必须采用直接埋入地下的带金属外皮的电缆或穿入金属管的导线。电缆外皮或金属管埋地长度在10m以上，才允许与35kV及以下配电装置的接地网及低压配电装置相连接。

严禁在装有避雷针、避雷线的构筑物上架设未采取保护措施的通信线、广播线和低压线。

7.1.11 独立避雷针、避雷线与配电装置带电部分间的空气中距离以及独立避雷针、避雷线的接地装置与接地网间的地中距离。

a）独立避雷针与配电装置带电部分、发电厂和变电所电气设备接地部分、架构接地部分之间的空气中距离，应符合下式的要求：

$$S_a \geqslant 0.2R_i + 0.1h \tag{11-3}$$

式中 S_a——空气中距离（m）；

R_i——避雷针的冲击接地电阻（Ω）；

h——避雷针校验点的高度（m）。

b）独立避雷针的接地装置与发电厂或变电所接地网间的地中距离，应符合下式的要求：

$$S_e \geqslant 0.3R_i \tag{11-4}$$

式中 S_e——地中距离（m）。

c）避雷线与配电装置带电部分、发电厂和变电所电气设备接地部分以及架构接地部分间的空气中距离，应符合下列要求。

对一端绝缘另一端接地的避雷线：

$$S_a \geqslant 0.2R_i + 0.1(h + \Delta l) \tag{11-5}$$

式中 h——避雷线支柱的高度(m);

Δl——避雷线上校验的雷击点与接地支柱的距离(m)。

对两端接地的避雷线:

$$S_a \geqslant \beta'[0.2R_i + 0.1(h + \Delta l)] \tag{11-6}$$

式中 β'——避雷线分流系数;

Δl——避雷线上校验的雷击点与最近支柱间的距离(m)。

避雷线分流系数可按下式计算:

$$\beta = \frac{1 + \dfrac{\tau_t R_i}{12.4(l_2 + h)}}{1 + \dfrac{\Delta_l + h}{l_2 + h} + \dfrac{\tau_t R_i}{6.2(l_2 + h)}} \approx \frac{l_2 + h}{l_2 + \Delta l + 2h} \tag{11-7}$$

式中 l_2——避雷线上校验的雷击点与另一端支柱间的距离,$l_2 = l' - \Delta l$(m);

l'——避雷线两支柱间的距离(m);

τ_t——雷电流波头长度,一般取 2.6μs。

d)避雷线的接地装置与发电厂或变电所接地网间的地中距离,应符合下列要求。

对一端绝缘另一端接地的避雷线,应按式(11-4)校验。对两端接地的避雷线应按下式校验:

$$S_e \geqslant 0.3\beta' R_i \tag{11-8}$$

e)除上述要求外,对避雷针和避雷线,S_a不宜小于 5m,S_e不宜小于 3m。

对 66kV 及以下配电装置,包括组合导线、母线廊道等,应尽量降低感应过电压,当条件许可时,S_a应尽量增大。

11.2.1.2 范围Ⅰ发电厂和变电所高压配电装置的雷电侵入波过电压保护

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

7.3.1 发电厂和变电所应采取措施防止或减少近区雷击闪络。未沿全线架设避雷线的 35～110kV 架空送电线路,应在变电所 1～2km 的进线段架设避雷线。

220kV 架空送电线路,在 2km 进线保护段范围内以及 35～110kV 线路在 1～2km 进线保护段范围内的杆塔耐雷水平应该符合表 7(原规范中,下同)的要求。

进线保护段上的避雷线保护角宜不超过 20°,最大不应超过 30°。

7.3.2 未沿全线架设避雷线的 35～110kV 线路,其变电所的进线段应采用图 11-1 所示的保护接线。

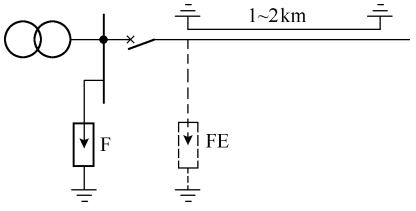


图 11-1 35～110kV 变电所的进线保护接线

在雷季，如变电所35～110kV进线的隔离开关或断路器可能经常断路运行，同时线路侧又带电，必须在靠近隔离开关或断路器处装设一组排气式避雷器FE。FE外间隙距离的整定，应使其在断路运行时能可靠地保护隔离开关或断路器，而在闭路运行时不动作。如FE整定有困难，或无适当参数的排气式避雷器，则可用阀式避雷器代替。

全线架设避雷线的35～220kV变电所，其进线的隔离开关或断路器与上述情况相同时，宜在靠近隔离开关或断路器处装设一组保护间隙或阀式避雷器。

7.3.3 发电厂、变电所的35kV及以上电缆进线段，在电缆与架空线的连接处应装设阀式避雷器，其接地端应与电缆金属外皮连接。对三芯电缆，末端的金属外皮应直接接地[见图11-2(a)]；对单芯电缆，应经金属氧化物电缆护层保护器(FC)或保护间隙(FG)接地[见图11-2(b)]。

如电缆长度不超过50m或虽超过50m，但经校验，装一组阀式避雷器即能符合保护要求，图11-2中可只装F1或F2。

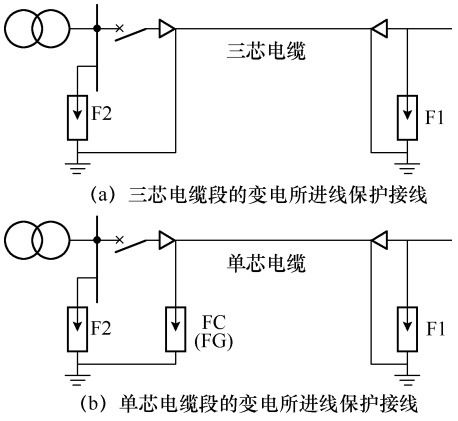


图11-2 具有35kV及以上电缆段的变电所进线保护接线

如电缆长度超过50m，且断路器在雷季可能经常断路运行，应在电缆末端装设排气式避雷器或阀式避雷器。

连接电缆段的1km架空线路应架设避雷线。

全线电缆—变压器组接线的变电所内是否需装设阀式避雷器，应视电缆另一端有无雷电过电压波侵入的可能，经校验确定。

7.3.4 具有架空进线的35kV及以上发电厂和变电所敞开式高压配电装置中阀式避雷器的配置。

a)每组母线上应装设阀式避雷器。阀式避雷器与主变压器及其他被保护设备的电气距离超过表11-8或表11-9的参考值时，可在主变压器附近增设一组阀式避雷器。

表11-8 普通阀式避雷器至主变压器间的最大电气距离 (m)

系统标称电压/kV	进线长度/km	进线路数			
		1	2	3	≥4
35	1	25	40	50	55
	1.5	40	55	65	75
	2	50	75	90	105

续表

系统标称电压/kV	进线长度/km	进线路数			
		1	2	3	≥4
66	1	45	65	80	90
	1.5	60	85	105	115
	2	80	105	130	145
110	1	45	70	80	90
	1.5	70	95	115	130
	2	100	135	160	180
220	2	105	165	195	220

注:①全线有避雷线进线长度取2km,进线长度在1～2km间时的距离按补插法确定,表11-9同此。

②35kV也适用于有串联间隙金属氧化物避雷器的情况。

变电所内所有阀式避雷器应以最短的接地线与配电装置的主接地网连接,同时应在其附近装设集中接地装置。

b)35kV及以上装有标准绝缘水平的设备和标准特性阀式避雷器且高压配电装置采用单母线、双母线或分段的电气主接线时,碳化硅普通阀式避雷器与主变压器间的最大电气距离可参照表11-8确定。对其他电器的最大距离可相应增加35%。

金属氧化物避雷器与主变压器间的最大电气距离可参照表11-9确定。对其他电器的最大距离可相应增加35%。

表11-9 金属氧化物避雷器至主变压器间的最大电气距离 (m)

系统标称电压/kV	进线长度/km	进线路数			
		1	2	3	≥4
110	1	55	85	105	115
	1.5	90	120	145	165
	2	125	170	205	230
220	2	125 (90)	195 (140)	235 (170)	265 (190)

注:①本表也适用于电站碳化硅磁吹避雷器(FM)的情况。

②括号内距离对应的雷电冲击全波耐受电压为850kV。

注:1. 标准绝缘水平指35kV、66kV、110kV及220kV变压器、电压互感器标准雷电冲击全波耐受电压分别为200kV、325kV、480kV及950kV。

2. 110kV及220kV金属氧化物避雷器在标称放电电流下的残压分别为260kV及520kV。

c)架空进线采用双回路杆塔,有同时遭到雷击的可能,确定阀式避雷器与变压器最大电气距离时,应按一路考虑,且在雷季中宜避免将其中一路断开。

d)对电气接线比较特殊的情况,可用计算方法或通过模拟试验确定最大电气距离。

7.3.5 有效接地系统中的中性点不接地的变压器,如中性点采用分级绝缘且未装设保护间隙,应在中性点装设雷电过电压保护装置,且宜选变压器中性点金属氧化物避雷器。如中性点采用全绝缘,但变电所为单进线且为单台变压器运行,也应在中性点装设雷电过电压

保护装置。

不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统中的变压器中性点，一般不装设保护装置，但多雷区单进线变电所且变压器中性点引出时，宜装设保护装置；中性点接有消弧线圈的变压器，如有单进线运行可能，也应在中性点装设保护装置。该保护装置可任选金属氧化物避雷器或碳化硅普通阀式避雷器。

7.3.6 自耦变压器必须在其两个自耦合的绕组出线上装设阀式避雷器，该阀式避雷器应装在自耦变压器和断路器之间，并采用图 11-3 的保护接线。

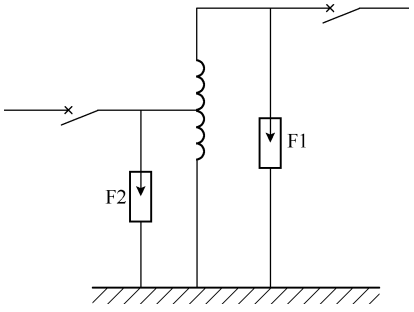


图 11-3 自耦变压器的典型保护接线

7.3.7 35～220kV 开关站，应根据其重要性和进线路数等条件，在母线上或进线上装设阀式避雷器。

7.3.8 与架空线路连接的三绕组自耦变压器、变压器（包括一台变压器与两台电机相连的三绕组变压器）的低压绕组如有开路运行的可能和发电厂双绕组变压器当发电机断开由高压侧倒送厂用电时，应在变压器低压绕组三相出线上装设阀式避雷器，以防来自高压绕组的雷电波的感应电压危及低压绕组绝缘；但如该绕组连有 25m 及以上金属外皮电缆段，则可不必装设避雷器。

7.3.9 变电所的 3～10kV 配电装置（包括电力变压器），应在每组母线和架空进线上装设阀式避雷器（分别采用电站和配电阀式避雷器），并应采用图 11-4 所示的保护接线。母线上阀式避雷器与主变压器的电气距离不宜大于表 11-10 所列数值。

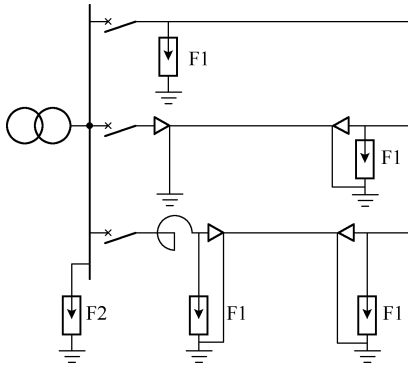


图 11-4 3～10kV 配电装置雷电侵入波的保护接线

架空进线全部在厂区内，且受到其他建筑物屏蔽时，可只在母线上装设阀式避雷器。

有电缆段的架空线路，阀式避雷器应装设在电缆头附近，其接地端应和电缆金属外皮相连。如各架空进线均有电缆段，则阀式避雷器与主变压器的最大电气距离不受限制。

阀式避雷器应以最短的接地线与变电所、配电所的主接地网连接(包括通过电缆金属外皮连接)。阀式避雷器附近应装设集中接地装置。

3～10kV 配电所,当无主变压器时,可仅在每路架空进线上装设阀式避雷器。

注:配电所指所内仅有起开闭和分配电能作用的配电装置,而母线上无主变压器。

表 11-10 阀式避雷器至 3～10kV 主变压器的最大电气距离

雷季经常运行的进线路数	1	2	3	≥4
最大电气距离 m	15	20	25	30

11.2.1.3 范围Ⅱ发电厂和变电所高压配电装置的雷电侵入波过电压保护

规范引用 **《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)**

7.2.1 2km 架空进线保护段范围内的杆塔耐雷水平应该符合表 7 的要求。应采取措施防止或减少近区雷击闪络。

7.2.2 具有架空进线电气设备采用标准绝缘水平的 330kV 发电厂和变电所敞开式高压配电装置中,金属氧化物避雷器至主变压器的距离,对于单、双、三和四回进线的情况,分别为 90m、140m、170m 和 190m。对其他电器的最大距离可相应增加 35%。

7.2.3 敞开式发电厂和变电所采用 $1\frac{1}{2}$ 断路器主接线时,金属氧化物避雷器宜装设在每回线路的入口和每一主变压器回路上,母线较长时是否需装设避雷器可通过校验确定。

7.2.4 采用 GIS、主接线为 $1\frac{1}{2}$ 断路器的发电厂和变电所,金属氧化物避雷器宜安装于每回线路的入口,每组母线上是否安装需经校验确定。当升压变压器经较长的气体绝缘管道或电缆接至 GIS 母线时(如水力发电厂)以及接线复杂的 GIS 发电厂和变电所的避雷器的配置可通过校验确定。

7.2.5 范围Ⅱ的变压器和高压并联电抗器的中性点经接地电抗器接地时,中性点上应装设金属氧化物避雷器保护。

11.2.1.4 气体绝缘全封闭组合电器(GIS)变电所的雷电侵入波过电压保护

规范引用 **《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)**

7.4.1 66kV 及以上进线无电缆段的 GIS 变电所,在 GIS 管道与架空线路的连接处,应装设金属氧化物避雷器(FMO1),其接地端应与管道金属外壳连接,如图 11-5 所示。

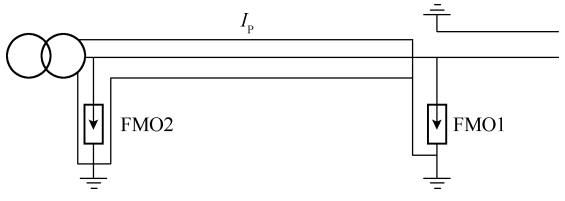


图 11-5 无电缆段进线的 GIS 变电所保护接线

如变压器或 GIS 一次回路的任何电气部分至 FMO1 间的最大电气距离不超过下列参

考值或虽超过，但经校验，装一组避雷器即能符合保护要求，则图 11-5 中可只装设 FMO1：

66kV	50m
110kV 及 220kV	130m

连接 GIS 管道的架空线路进线保护段的长度应不小于 2km，且应符合 7.2.1 或 7.2.2 的要求。

7.4.2 66kV 及以上进线有电缆段的 GIS 变电所，在电缆段与架空线路的连接处应装设金属氧化物避雷器(FMO1)，其接地端应与电缆的金属外皮连接。对三芯电缆，末端的金属外皮应与 GIS 管道金属外壳连接接地[见图 11-6(a)]；对单芯电缆，应经金属氧化物电缆护层保护器(FC)接地[见图 11-6(b)]。

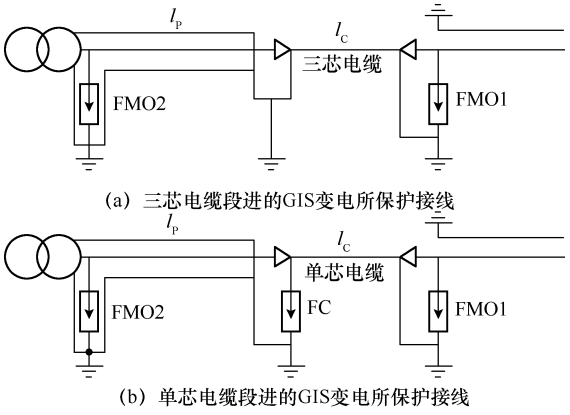


图 11-6 有电缆段进线的 GIS 变电所保护接线

电缆末端至变压器或 GIS 一次回路的任何电气部分间的最大电气距离不超过 7.4.1 中的参考值或虽超过，但经校验，装一组避雷器即能符合保护要求，图 11-6 中可不装设 FMO2。

对连接电缆段的 2km 架空线路应架设避雷线。

7.4.3 进线全长为电缆的 GIS 变电所内是否需装设金属氧化物避雷器，应视电缆另一端有无雷电过电压波侵入的可能，经校验确定。

11.2.1.5 小容量变电所雷电侵入波过电压的简易保护

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

7.5.1 3150～5000kVA 的变电所 35kV 侧，可根据负荷的重要性及雷电活动的强弱等条件适当简化保护接线，变电所进线段的避雷线长度可减少到 500～600m，但其首端排气式避雷器或保护间隙的接地电阻不应超过 5Ω(见图 11-7)。

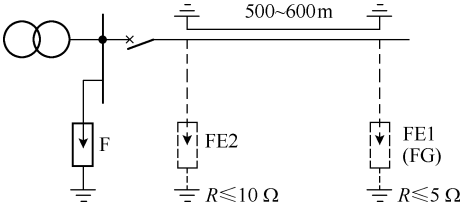
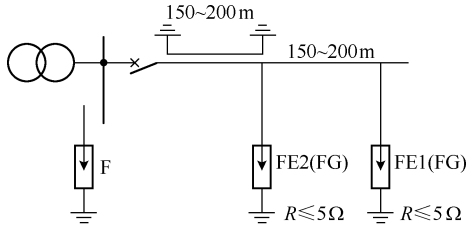
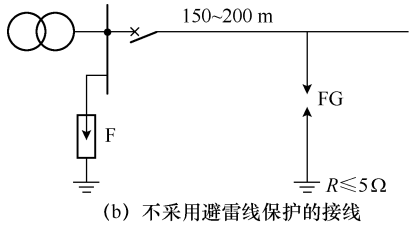


图 11-7 3150～5000kVA、35kV 变电所的简易保护接线

7.5.2 小于3150kVA供非重要负荷的变电所35kV侧,根据雷电活动的强弱,可采用图11-8(a)所示的保护接线;容量为1000kVA及以下的变电所,可采用图11-8(b)所示的保护接线。



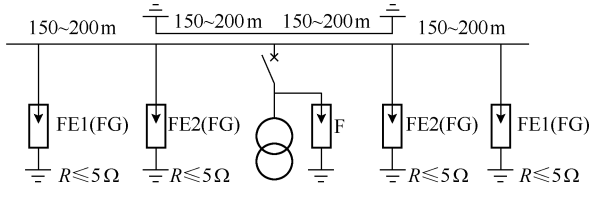
(a) 采用避雷线保护的接线



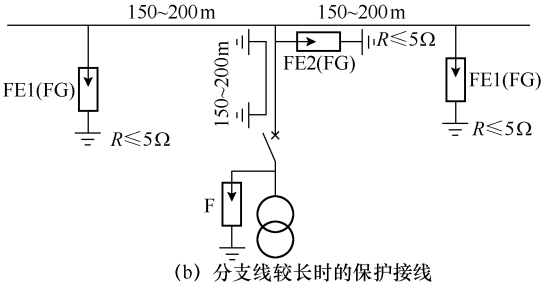
(b) 不采用避雷线保护的接线

图11-8 小于3150kVA变电所的简易保护

7.5.3 小于3150kVA供非重要负荷的35kV分支变电所,根据雷电活动的强弱,可采用图11-9的保护接线。



(a) 分支线较短时的保护接线



(b) 分支线较长时的保护接线

图11-9 小于3150kVA分支变电所的简易保护

7.5.4 简易保护接线的变电所35kV侧,阀式避雷器与主变压器或电压互感器间的最大电气距离不宜超过10m。

11.2.1.6 配电系统的雷电过电压保护

8.1 3～10kV 配电系统中的配电变压器应装设阀式避雷器保护。阀式避雷器应尽量靠近变压器装设，其接地线应与变压器低压侧中性点（中性点不接地时则为中性点的击穿保险器的接地端）以及金属外壳等连在一起接地。

8.2 3～10kV Yyn 和 Yy（低压侧中性点接地和不接地）接线的配电变压器，宜在低压侧装设一组阀式避雷器或击穿保险器，以防止反变换波和低压侧雷电侵入波击穿高压侧绝缘。但厂区内的配电变压器可根据运行经验确定。

低压侧中性点不接地的配电变压器，应在中性点装设击穿保险器。

8.3 35～0.4kV 配电变压器，其高低压侧均应装设阀式避雷器保护。

8.4 3～10kV 柱上断路器和负荷开关应装设阀式避雷器保护。经常断路运行而又带电的柱上断路器、负荷开关或隔离开关，应在带电侧装设阀式避雷器，其接地线应与柱上断路器等的金属外壳连接，且接地电阻不应超过 10Ω。

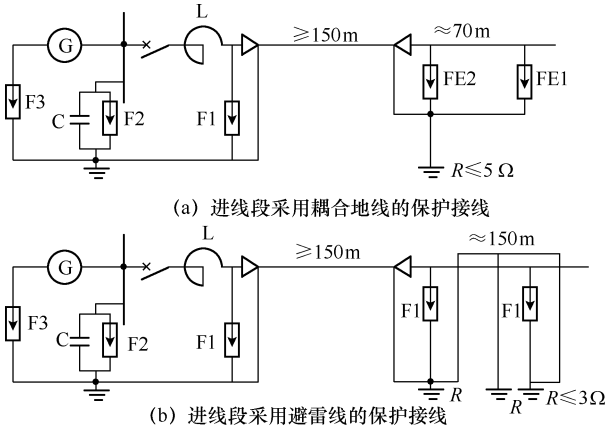
装设在架空线路上的电容器宜装设阀式避雷器保护。

11.2.1.7 旋转电机的雷电过电压保护

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

9.1 与架空线路直接连接的旋转电机（发电机、同步调相机、变频机和电动机，简称直配电机）的保护方式，应根据电机容量、雷电活动的强弱和对运行可靠性的要求确定。

9.2 单机容量为 25000～60000kW 的直配电机，宜采用图 11-10(a)所示的保护接线。60000kW 以上的电机，不应与架空线路直接连接。



F1—配电阀式避雷器；F2—旋转电机阀式避雷器；F3—旋转电机中性点阀式避雷器；FE1、FE2—排气式避雷器；G—发电机；L—限制短路电流用电抗器；C—电容器

图 11-10 25000～60000kW 直配电机的保护接线

排气式避雷器 FE1 和 FE2 的冲击放电电压不应超过表 11-11 所列的数值。

FE1 和 FE2 的接地端应用钢绞线连接。钢绞线架设在导线下方，距导线应小于 3m 但大于 2m，并应与电缆首端的金属外皮在装设 FE2 杆塔处连在一起接地，工频接地电阻 R 不应大于 5Ω。

进线电缆段应直接埋设在土壤中，以充分利用其金属外皮的分流作用。如受条件限制不能直接埋设，可将电缆金属外皮多点接地，即除两端接地外，再在两端间的 3～5 处接地。

表 11-11 排气式避雷器 FE1 和 FE2 的冲击放电电压

系统标称电压/kV	3	6	10
预放电时间为 2μs 的冲击放电电压/kV	40	50	60

如电缆首端的短路电流较大,按图 11-10(a)所示的保护接线无适当参数的排气式避雷器可用时,可改用图 11-10(b)所示的保护接线。

进线段上的阀式避雷器的接地端,应与电缆的金属外皮和避雷线连在一起接地,接地电阻 R 不应大于 3Ω。

9.3 单机容量为 6000～25000kW(不含 25000kW)的直配电机,宜采用图 11-11(a)所示的保护接线。在多雷区,也可采用图 11-10 所示的保护接线。

如电缆首端的短路电流较大,按图 11-11(a)所示的保护接线无适当参数的排气式避雷器可用时,可改用图 11-11(b)所示的保护接线。

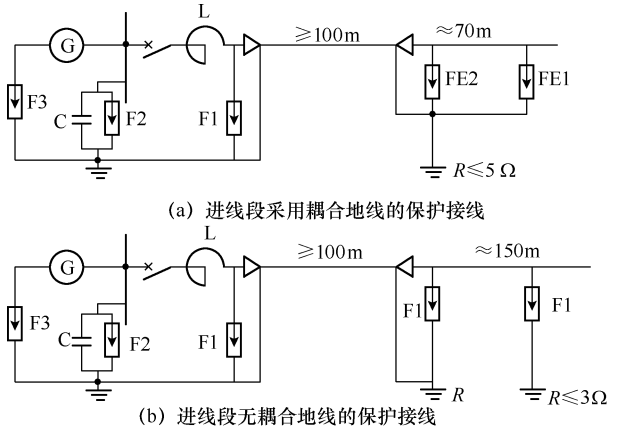


图 11-11 6000～25000kW(不含 25000kW)直配电机的保护接线

9.4 单机容量为 6000～12000kW 的直配电机,如出线回路中无限流电抗器,可采用图 11-12 所示的保护接线。在雷电活动特殊强烈地区,宜采用有电抗线圈的图 11-12(a)所示的保护接线。

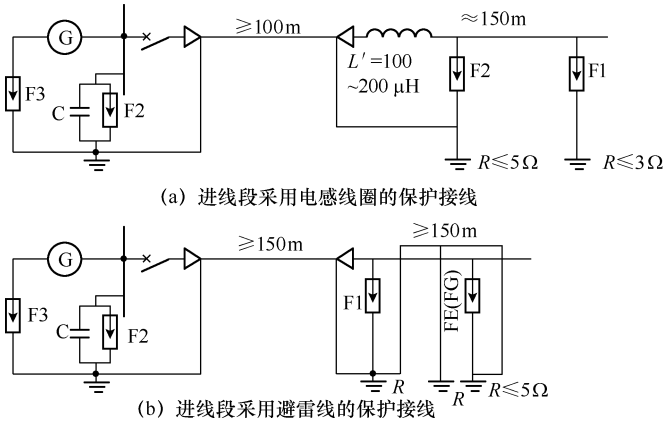


图 11-12 6000～12000kW 直配电机的保护接线

9.5 单机容量为1500～6000kW(不含6000kW)或少雷区60000kW及以下的直配电机,可采用图11-13所示的保护接线。

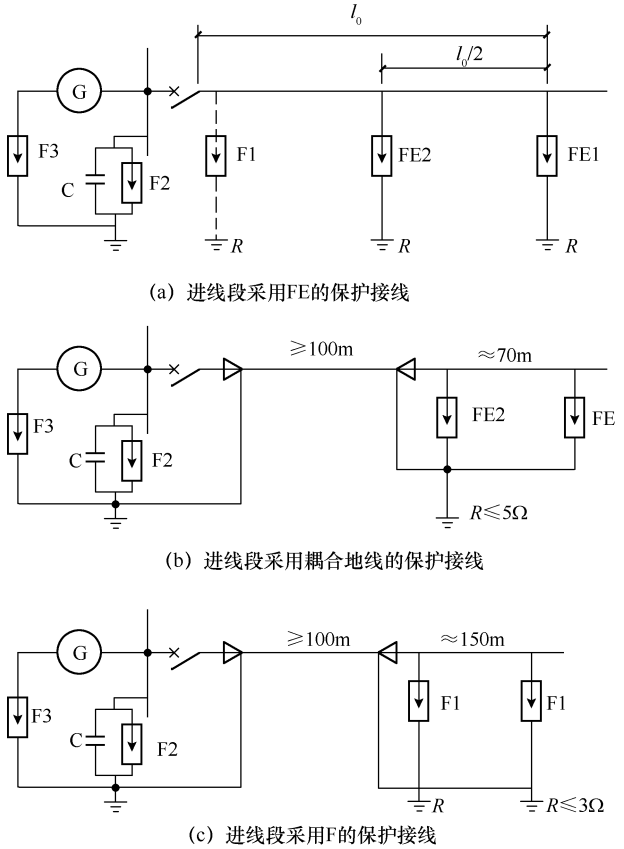


图11-13 1500～6000kW(不含6000kW)直配电机和少雷地区60000kW及以下直配电机的保护接线

在进线保护段长度l_0内,应装设避雷针或避雷线。

进线保护段长度与排气式避雷器接地电阻的关系应符合下列要求:

对3kV和6kV线路

$$\frac{l_0}{R} \geqslant 200 \tag{11-9}$$

对10kV线路

$$\frac{l_0}{R} \geqslant 150 \tag{11-10}$$

式中 l_0——进线保护段长度(m);

R——接地电阻(Ω)。

进线保护段长度一般采用450～600m。

在进线保护段上如有排气式避雷器FE2,接地电阻R可取两组排气式避雷器FE1和FE2接地电阻的并联值。

图11-13(a)中的阀式避雷器F1主要用来保护断路器或隔离开关。

9.6 单机容量为1500～6000kW或列车电站的直配电机,可采用图11-14所示的有电抗线圈或限流电抗器的保护接线。

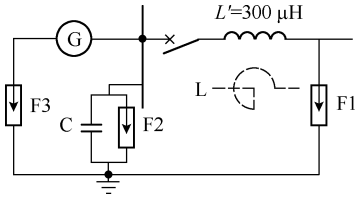


图11-14 1500～6000kW直配电机或列车电站直配电机的保护接线

单机容量为1500kW以下的直配电机,采用9.7、9.8规定的保护方式有困难时,也可采用图11-14所示的保护接线。

9.7 单机容量为1500kW及以下的直配电机,宜采用图11-15所示的保护接线。

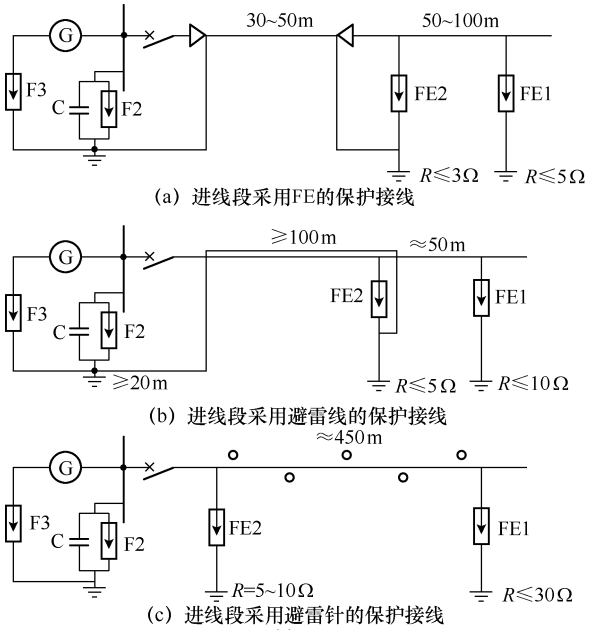


图11-15 1500kW及以下直配电机的保护接线

9.8 容量为25000kW及以上的直配电机,应在每台电机出线处装设一组旋转电机阀式避雷器。25000kW以下的直配电机,避雷器也应尽量靠近电机装设,在一般情况下,避雷器可装在电机出线处;如接在每一组母线上的电机不超过两台,避雷器也可装在每一组母线上。

9.9 如直配电机的中性点能引出且未直接接地,应在中性点上装设旋转电机中性点阀式避雷器。

9.10 保护直配电机用的避雷线,对边导线的保护角不应大于30°。

9.11 为保护直配电机匝间绝缘和防止感应过电压,装在每相母线上的电容器,包括电缆段电容在内应为0.25～0.5μF;对于中性点不能引出或双排非并绕绕组的电机,应为1.5～2μF(见图11-10～图11-15)。

电容器宜有短路保护。

9.12 无架空直配线的发电机，如发电机与升压变压器之间的母线桥或组合导线无金属屏蔽部分的长度大于50m，应采取防止感应过电压的措施，在发电机回路或母线的每相导线上装设不小于0.15μF的电容器或旋转电机阀式避雷器。如已按7.3.8要求装设避雷器，则可不再采取措施，但该避雷器应选用旋转电机阀式避雷器。

9.13 在多雷区，经变压器与架空线路连接的非直配电机，如变压器高压侧的系统标称电压为66kV及以下时，为防止雷电过电压经变压器绕组的电磁传递而危及电机的绝缘，宜在电机出线上装设一组旋转电机阀式避雷器。变压器高压侧的系统标称电压为110kV及以上时，电机出线上是否装设避雷器可经校验确定。

11.2.1.8 高压架空线路的雷电过电压保护

11.2.1.8.1 一般线路的保护

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

6.1.1 送电线路的雷电过电压保护方式，应根据线路的电压等级、负荷性质、系统运行方式、当地原有线路的运行经验、雷电活动的强弱、地形地貌的特点和土壤电阻率的高低等条件，通过技术经济比较确定。

各级电压的送、配电线路，应尽量装设自动重合闸装置。35kV及以下的厂区内的短线路，可按需要确定。

6.1.2 各级电压的线路，一般采用下列保护方式：

a)330kV和500kV线路应沿全线架设双避雷线，但少雷区除外。

b)220kV线路宜沿全线架设双避雷线；少雷区宜架设单避雷线。

c)110kV线路一般沿全线架设避雷线，在山区和雷电活动特殊强烈地区，宜架设双避雷线。在少雷区可不沿全线架设避雷线，但应装设自动重合闸装置。

d)66kV线路，负荷重要且所经地区平均年雷暴日数为30以上的地区，宜沿全线架设避雷线。

e)35kV及以下线路，一般不沿全线架设避雷线。

f)除少雷区外，3～10kV钢筋混凝土杆配电线路，宜采用瓷或其他绝缘材料的横担；如果用铁横担，对供电可靠性要求高的线路宜采用高一电压等级的绝缘子，并应尽量以较短的时间切除故障，以减少雷击跳闸和断线事故。

6.1.3 有避雷线的线路，在一般土壤电阻率地区，其耐雷水平不宜低于表11-12所列数值。

表11-12 有避雷线线路的耐雷水平

标称电压/kV		35	66	110	220	330	500
耐雷水平/kA	一般线路	20～30	30～60	40～75	75～110	100～150	125～175
	大跨越档中央和发电厂、变电所进线保护段	30	60	75	110	150	175

6.1.4 有避雷线的线路，每基杆塔不连避雷线的工频接地电阻，在雷季干燥时，不宜超过表11-13所列数值。

表 11-13 有避雷线的线路杆塔的工频接地电阻

土壤电阻率/(Ω·m)	≤100	>100～500	>500～1000	>1000～2000	>2000
接地电阻/Ω	10	15	20	25	30

注:如土壤电阻率超过 2000Ω·m,接地电阻很难降低到 30Ω 时,可采用 6～8 根总长不超过 500m 的放射形接地体,或采用连续伸长接地体,接地电阻不受限制。

雷电活动强烈的地方和经常发生雷击故障的杆塔和线段,应改善接地装置、架设避雷线、适当加强绝缘或架设耦合地线。

6.1.5 杆塔上避雷线对边导线的保护角,一般采用 20°～30°。220～330kV 双避雷线线路,一般采用 20°左右,500kV 一般不大于 15°,山区宜采用较小的保护角。杆塔上两根避雷线间的距离不应超过导线与避雷线间垂直距离的 5 倍。

6.1.6 有避雷线的线路应防止雷击档距中央反击导线。15℃无风时,档距中央导线与避雷线间的距离宜符合下式要求:

$$S_1 = 0.012l + 1 \tag{11-11}$$

式中 S_1——导线与避雷线间的距离(m);

l——档距长度(m)。

当档距长度较大,按式 11-11 计算出的 S_1 大于表 11-15 的数值时,可按后者要求。

6.1.7 中雷区及以上地区 35kV 和 66kV 无避雷线线路宜采取措施,减少雷击引起的多相短路和两相异点接地引起的断线事故,钢筋混凝土杆和铁塔宜接地,接地电阻不受限制,但多雷区不宜超过 30Ω。钢筋混凝土杆和铁塔应充分利用其自然接地作用,在土壤电阻率不超过 100Ω·m 或有运行经验的地区,可不另设人工接地装置。

6.1.8 钢筋混凝土杆铁横担和钢筋混凝土横担线路的避雷线支架、导线横担与绝缘子固定部分或瓷横担固定部分之间,宜有可靠的电气连接并与接地引下线相连。主杆非预应力钢筋如上下已用绑扎或焊接连成电气通路,则可兼作接地引下线。

利用钢筋兼作接地引下线的钢筋混凝土电杆,其钢筋与接地螺母、铁横担间应有可靠的电气连接。

6.1.9 与架空线路相连接的长度超过 50m 的电缆,应在其两端装设阀式避雷器或保护间隙;长度不超过 50m 的电缆,只在任何一端装设即可。

6.1.10 绝缘避雷线的放电间隙,其间隙值应根据避雷线上感应电压的续流熄弧条件和继电保护的动作条件确定,一般采用 10～40mm。在海拔 1000m 以上的地区,间隙应相应加大。

11.2.1.8.2 线路交叉部分的保护

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

规范引用

6.2.1 线路交叉档两端的绝缘不应低于其邻档的绝缘。交叉点应尽量靠近上下方线路的杆塔,以减少导线因初伸长、覆冰、过载温升、短路电流过热而增大弧垂的影响,以及降低雷击交叉档时交叉点上的过电压。

6.2.2 同级电压线路相互交叉或与较低电压线路、通信线路交叉时,两交叉线路导线间或上方线路导线与下方线路避雷线间的垂直距离,当导线温度为 40℃时,不得小于表 11-14 所列数值。对按允许载流量计算导线截面的线路,还应校验当导线为最高允许温度时的

交叉距离，此距离应大于表 15 所列操作过电压间隙距离，且不得小于 0.8m。

表 11-14 同级电压线路相互交叉或与较低电压线路通信线路交叉时的交叉距离

系统标称电压/kV	3～10	20～110	220	330	500
交叉距离/m	2	3	4	5	6

6.2.3 3kV 及以上的同级电压线路相互交叉或与较低电压线路、通信线路交叉时，交叉档一般采取下列保护措施：

a)交叉档两端的钢筋混凝土杆或铁塔(上、下方线路共 4 基)，不论有无避雷线，均应接地。

b)3kV 及以上线路交叉档两端为木杆或木横担钢筋混凝土杆且无避雷线时，应装设排气式避雷器或保护间隙。

c)与 3kV 及以上电力线路交叉的低压线路和通信线路，当交叉档两端为木杆时，应装置保护间隙。

门形木杆上的保护间隙，可由横担与主杆固定处沿杆身敷设接地引下线构成。单木杆针式绝缘子的保护间隙，可在距绝缘子固定点 750mm 处绑扎接地引下线构成。通信线的保护间隙，可由杆顶沿杆身敷设接地引下线构成。

如交叉距离比表 11-14 所列数值大 2m 及以上，则交叉档可不采取保护措施。

6.2.4 如交叉点至最近杆塔的距离不超过 40m，可不在此线路交叉档的另一杆塔上装设交叉保护用的接地装置、排气式避雷器或保护间隙。

11.2.1.8.3 大跨越档的雷电过电压保护

规范引用 **《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)**

6.3.1 大跨越档的绝缘水平不应低于同一线路的其他杆塔。全高超过 40m 有避雷线的杆塔，每增高 10m，应增加一个绝缘子，避雷线对边导线的保护角对 66kV 及以下和 110kV 及以上线路分别不宜大于 20°和 15°。接地电阻不应超过表 11-13 所列数值的 50%，当土壤电阻率大于 2000Ω·m 时，也不宜超过 20Ω。全高超过 100m 的杆塔，绝缘子数量应结合运行经验，通过雷电过电压的计算确定。

6.3.2 未沿全线架设避雷线的 35kV 及以上新建线路中的大跨越段，宜架设避雷线。对新建无避雷线的大跨越档，应装设排气式避雷器或保护间隙，新建线路应比表 15 的要求增加一个绝缘子。

6.3.3 根据雷击档距中央避雷线时防止反击的条件，大跨越档导线与避雷线间的距离不得小于表 11-15 的要求。

表 11-15 防止反击要求的大跨越档导线与避雷线间的距离

系统标称电压/kV	35	66	110	220	330	500
距离/m	3.0	6.0	7.5	11.0	15.0	17.5

11.2.1.9 雷电过电压保护装置

11.2.1.9.1 避雷针和避雷线

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

规范引用

5.2.1 单支避雷针的保护范围(见图 11-16):

a)避雷针在地面上的保护半径,应按下式计算:

$$r=1.5hP \tag{11-12}$$

式中 r——保护半径(m);

h——避雷针的高度(m);

P——高度影响系数,$h\leqslant 30\text{m}$,$P=1$;$30\text{m}<h\leqslant 120\text{m}$,$P=\dfrac{5.5}{\sqrt{h}}$;当 $h>120\text{m}$ 时,取其等于 120m。

b)在被保护物高度 h_x 水平面上的保护半径应按下列方法确定:

1)当 $h_x\geqslant 0.5h$ 时

$$r_x=(h-h_x)P)=h_aP \tag{11-13}$$

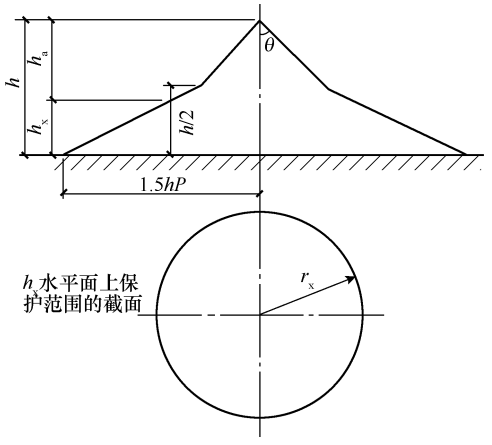
式中 r_x——避雷针在 h_x 水平面上的保护半径(m);

h_x——被保护物的高度(m);

h_a——避雷针的有效高度(m)。

2)当 $h_x<0.5h$ 时

$$r_x=(1.5h-2h_x)P \tag{11-14}$$



($h\leqslant 30\text{m}$ 时,$\theta=45°$)

图 11-16 单支避雷针的保护范围

5.2.2 两支等高避雷针的保护范围(见图 11-17):

a)两针外侧的保护范围应按单支避雷针的计算方法确定。

b)两针间的保护范围应按通过两针顶点及保护范围上部边缘最低点 O 的圆弧确定,圆弧的半径为 R'_O。O 点为假想避雷针的顶点,其高度应按下式计算:

$$h_O=h-\frac{D}{7P} \tag{11-15}$$

式中 h_O——两针间保护范围上部边缘最低点高度(m);

D——两避雷针间的距离(m)。

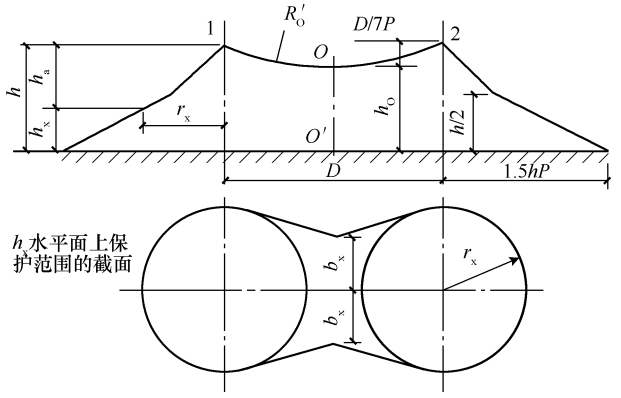
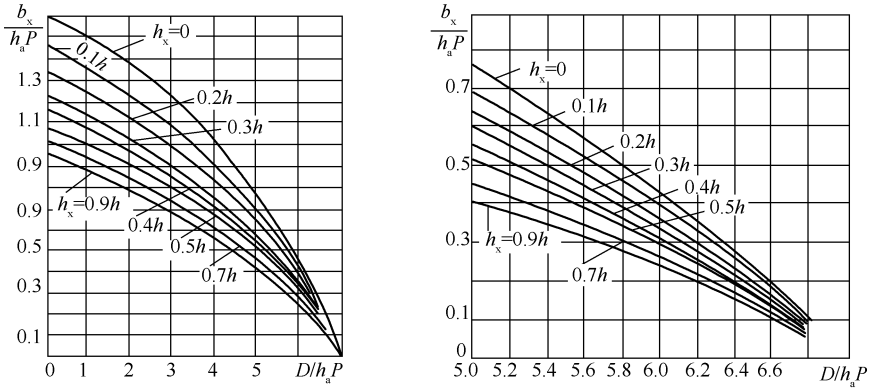


图 11-17 高度为 h 的两等高避雷针的保护范围

两针间 h_x 水平面上保护范围的一侧最小宽度应按图 11-18 确定。当 $b_x > r_x$ 时，取 $b_x = r_x$。



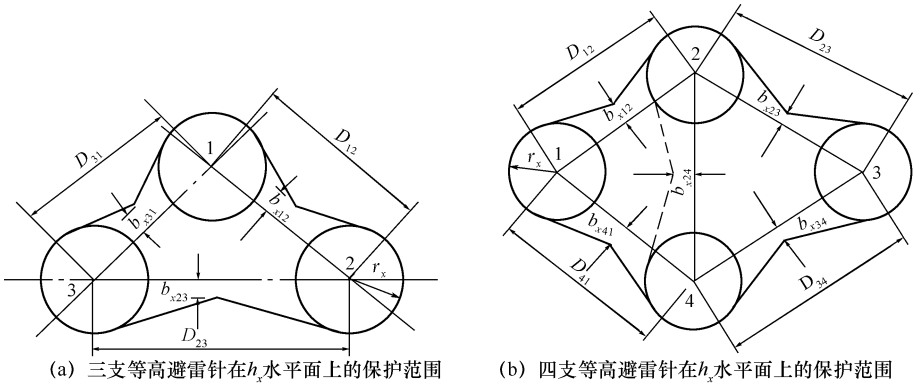
(a) D/h_aP=0～7　　(b) D/h_aP=5～7

图 11-18 两等高(h)避雷针间保护范围的一侧最小宽度(b_x)与 D/h_aP 的关系

求得 b_x 后，可按图 11-17 绘出两针间的保护范围。

两针间距离与针高之比 D/h 不宜大于 5。

5.2.3 多支等高避雷针的保护范围[见图 11-19(a)及图 11-19(b)]：



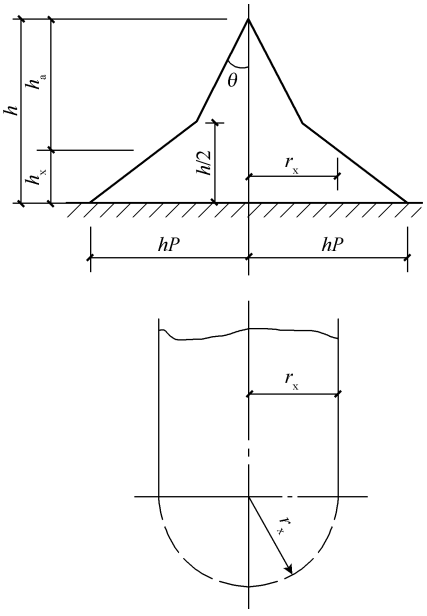
(a) 三支等高避雷针在h_x水平面上的保护范围　　(b) 四支等高避雷针在h_x水平面上的保护范围

图 11-19 三、四支等高避雷针在 h_x 水平面上的保护范围

a)三支等高避雷针所形成的三角形的外侧保护范围应分别按两支等高避雷针的计算方法确定。如在三角形内被保护物最大高度 h_x 水平面上,各相邻避雷针间保护范围的一侧最小宽度 $b_x \geqslant 0$ 时,则全部面积受到保护。

b)四支及以上等高避雷针所形成的四角形或多角形,可先将其分成两个或数个三角形,然后分别按三支等高避雷针的方法计算。如各边的保护范围一侧最小宽度 $b_x \geqslant 0$,则全部面积即受到保护。

5.2.4 单根避雷线在 h_x 水平面上每侧保护范围的宽度(见图 11-20):



($h \leqslant 30$m 时,$\theta = 25°$)

图 11-20 单根避雷线的保护范围

a)当 $h_x \geqslant \dfrac{h}{2}$ 时

$$r_x = 0.47(h - h_x)P \tag{11-16}$$

式中 r_x——每侧保护范围的宽度(m)。

b)当 $h_x < \dfrac{h}{2}$ 时

$$r_x = (h - 1.53h_x)P \tag{11-17}$$

5.2.5 两根等高平行避雷线的保护范围(见图 11-21):

a)两避雷线外侧的保护范围应按单根避雷线的计算方法确定。

b)两避雷线间各横截面的保护范围应由通过两避雷线 1、2 点及保护范围边缘最低点 O 的圆弧确定。O 点的高度应按下式计算:

$$h_O = h - \frac{D}{4P} \tag{11-18}$$

式中 h_O——两避雷线间保护范围上部边缘最低点的高度(m);

D——两避雷线间的距离(m);

h——避雷线的高度(m)。

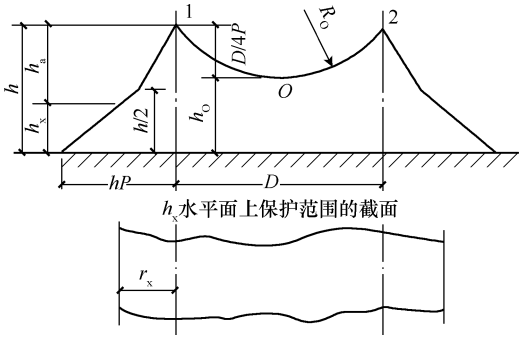


图 11-21 两根平行避雷线的保护范围

c)两避雷线端部的两侧保护范围仍按单根避雷线保护范围计算。两线间保护最小宽度(见图 11-17)按下列方法确定:

1)当 $h_x \geqslant \frac{h}{2}$ 时

$$b_x = 0.47(h_O - h_x)P \tag{11-19}$$

2)当 $h_x < \frac{h}{2}$ 时

$$b_x = (h_O - 1.53h_x)P \tag{11-20}$$

5.2.6 不等高避雷针、避雷线的保护范围(见图 11-22):

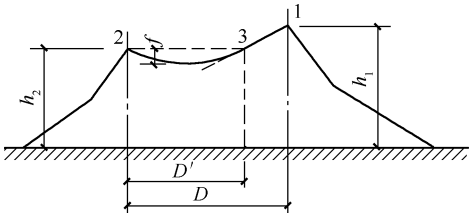


图 11-22 两支不等高避雷针的保护范围

a)两支不等高避雷针外侧的保护范围应分别按单支避雷针的计算方法确定。

b)两支不等高避雷针间的保护范围应按单支避雷针的计算方法,先确定较高避雷针 1 的保护范围,然后由较低避雷针 2 的顶点,作水平线与避雷针 1 的保护范围相交于点 3,取点 3 为等效避雷针的顶点,再按两支等高避雷针的计算方法确定避雷针 2 和 3 间的保护范围。通过避雷针 2、3 顶点及保护范围上部边缘最低点的圆弧,其弓高应按下式计算:

$$f = \frac{D'}{7P} \tag{11-21}$$

式中 f——圆弧的弓高(m);

D'——避雷针 2 和等效避雷针 3 间的距离(m)。

c)对多支不等高避雷针所形成的多角形,各相邻两避雷针的外侧保护范围按两支不等高避雷针的计算方法确定;三支不等高避雷针,如在三角形内被保护物最大高度 h_x 水平面上,各相邻避雷针间保护范围一侧最小宽度 $b_x \geqslant 0$,则全部面积即受到保护;四支及以上不等高避雷针所形成的多角形,其内侧保护范围可仿照等高避雷针的方法确定。

d)两根不等高避雷线各横截面的保护范围,应仿照两支不等高避雷针的方法,按式(11-18)

计算。

5.2.7 山地和坡地上的避雷针,由于地形、地质、气象及雷电活动的复杂性,避雷针的保护范围应有所减小。避雷针的保护范围可按式(11-12)～式(11-14)的计算结果和根据图11-18确定的b_x等乘以系数0.75求得;式(11-15)可修改为$h_0 = h - \frac{D}{5P}$;式(11-21)可修改为$f = \frac{D'}{5P}$。

利用山势设立的远离被保护物的避雷针不得作为主要保护装置。

5.2.8 相互靠近的避雷针和避雷线的联合保护范围可近似按下列方法确定(见图11-23):

避雷针、线外侧保护范围分别按单针、线的保护范围确定。内侧首先将不等高针、线划为等高针、线,然后将等高针、线视为等高避雷线计算其保护范围。

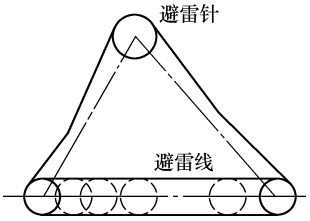


图11-23 避雷针和避雷线的联合保护范围

11.2.1.9.2 阀式避雷器

《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

规范引用

5.3.1 采用阀式避雷器进行雷电过电压保护时,除旋转电机外,对不同电压范围、不同系统接地方式的避雷器选型如下:

a)有效接地系统,范围Ⅱ应该选用金属氧化物避雷器;范围Ⅰ宜采用金属氧化物避雷器。

b)气体绝缘全封闭组合电器(GIS)和低电阻接地系统应该选用金属氧化物避雷器。

c)不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统,根据系统中谐振过电压和间歇性电弧接地过电压等发生的可能性及其严重程度,可任选金属氧化物避雷器或碳化硅普通阀式避雷器。

5.3.2 旋转电机的雷电侵入波过电压保护,宜采用旋转电机金属氧化物避雷器或旋转电机磁吹阀式避雷器。

5.3.3 有串联间隙金属氧化物避雷器和碳化硅阀式避雷器的额定电压,在一般情况下应符合下列要求:

a)110kV及220kV有效接地系统不低于$0.8U_m$。

b)3～10kV和35kV、66kV系统分别不低于$1.1U_m$和U_m;3kV及以上具有发电机的系统不低于$1.1U_{m.g}$。

注:$U_{m.g}$为发电机最高运行电压。

c)中性点避雷器的额定电压,对3～20kV和35kV、66kV系统,分别不低于$0.64U_m$和$0.58U_m$;对3～20kV发电机,不低于$0.64U_{m.g}$。

5.3.4 采用无间隙金属氧化物避雷器作为雷电过电压保护装置时,应符合下列要求:

a)避雷器的持续运行电压和额定电压应不低于表11-16所列数值。

b)避雷器能承受所在系统作用的暂时过电压和操作过电压能量。

表 11-16 无间隙金属氧化物避雷器持续运行电压和额定电压

系统接地方式		持续运行电压/kV		额定电压/kV	
		相地	中性地	相地	中性地
有效接地	110kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.45U_m$	$0.75U_m$	$0.57U_m$
	220kV	$U_m/\sqrt{3}$	$0.13U_m$ $(0.45U_m)$	$0.75U_m$	$0.17U_m$ $(0.57U_m)$
	330kV、500kV	$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$ $(0.59U_m)$	$0.13U_m$	$0.75U_m$ $(0.8U_m)$	$0.17U_m$
不接地	3～20kV	$1.1U_m$;$U_{m\cdot g}$	$0.64U_m$;$U_{m\cdot g}/\sqrt{3}$	$1.38U_m$;$1.25U_{m\cdot g}$	$0.8U_m$;$0.72U_{m\cdot g}$
	35kV、66kV	U_m	$U_m/\sqrt{3}$	$1.25U_m$	$0.72U_m$
消耗线圈		U_m;$U_{m\cdot g}$	$U_m/\sqrt{3}$;$U_{m\cdot g}/\sqrt{3}$	$1.25U_m$;$1.25U_{m\cdot g}$	$0.72U_m$;$0.72U_{m\cdot g}$
低电阻		$0.8U_m$		U_m	—
高电阻		$1.1U_m$;$U_{m\cdot g}$	$1.1U_m/\sqrt{3}$;$U_{m\cdot g}/\sqrt{3}$	$1.38U_m$;$1.25U_{m\cdot g}$	$0.8U_m$;$0.72U_{m\cdot g}$

注:①220kV 括号外、内数据分别对应变压器中性点经接地电抗器接地和不接地。

②330kV、500kV 括号外、内数据分别与工频过电压 1.3p.u. 和 1.4p.u. 对应。

③220kV 变压器中性点经接地电抗器接地和 330kV、500kV 变压器或高压并联电抗器中性点经接地电抗器接地时,接地电抗器的电抗与变压器或高压并联电抗器的零序电抗之比小于等于 1/3。

④110kV、220kV 变压器中性点不接地且绝缘水平低于表 21 所列数值时,避雷器的参数需另行研究确定。

5.3.5 阀式避雷器标称放电电流下的残压,不应大于被保护电气设备(旋转电机除外)标准雷电冲击全波耐受电压的 71%。

5.3.6 发电厂和变电所内 35kV 及以上避雷器应装设简单可靠的多次动作记录器或磁钢记录器。

11.2.1.9.3 排气式避雷器

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

5.4.1 在选择排气式避雷器时,开断续流的上限,考虑非周期分量,不得小于安装处短路电流的最大有效值;开断续流的下限,不考虑非周期分量,不得大于安装处短路电流的可能最小值。

5.4.2 如按开断续流的范围选择排气式避雷器,最大短路电流应按雷季电力系统最大运行方式计算,并包括非周期分量的第一个半周短路电流有效值。如计算困难,对发电厂附近,可将周期分量第一个半周的有效值乘以 1.5;距发电厂较远的地点,乘以 1.3。最小短路电流应按雷季电力系统最小运行方式计算,且不包括非周期分量。

5.4.3 排气式避雷器外间隙的距离,在符合保护要求的条件下,应采用较大的数值。

排气式避雷器外间隙的距离一般采用表 11-7 所列数值。

表 11-7 排气式避雷器外间隙的距离

系统标称电压/kV	3	6	10	20	35
最小距离/mm	8	10	15	60	100
最大距离/mm	—	—	—	150～200	250～300

为减少排气式避雷器在反击时动作,应降低与避雷线的总接地电阻,并增大外间隙距离,一般可增大到表 11-17 所列的外间隙最大距离。

5.4.4 排气式避雷器的设置应符合下列要求:

a)应避免各避雷器排出的电离气体相交而造成短路。但在开口端固定避雷器,则允许其排出的电离气体相交。

b)为防止在排气式避雷器的内腔积水,宜垂直安装,开口端向下或倾斜安装,与水平线的夹角不应小于 15°。在污秽地区,应增大倾斜角度。

c)排气式避雷器应安装牢固,并保证外间隙稳定不变。

d)标称电压 10kV 及以下系统中用的排气式避雷器,为防止雨水造成短路,外间隙的电极不应垂直布置。

e)外间隙电极宜镀锌,或采取避免锈水沾污绝缘子的措施。

5.4.5 排气式避雷器应装设简单可靠的动作指示器。

11.2.2 暂时过电压、操作过电压及保护

11.2.2.1 暂时过电压及保护

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

4.1.1 工频过电压、谐振过电压与系统结构、容量、参数、运行方式以及各种安全自动装置的特性有关。工频过电压、谐振过电压除增大绝缘承受电压外,还对选择过电压保护装置有重要影响。

a)系统中的工频过电压一般由线路空载、接地故障和甩负荷等引起。对范围Ⅱ的工频过电压,在设计时应结合实际条件加以预测。根据这类系统的特点,有时需综合考虑这几种因素的影响。

通常可取正常送电状态下甩负荷和在线路受端有单相接地故障情况下甩负荷作为确定系统工频过电压的条件。

对工频过电压应采取措施加以降低。一般主要采用在线路上安装并联电抗器的措施限制工频过电压。在线路上架设良导体避雷线降低工频过电压时,宜通过技术经济比较加以确定。系统的工频过电压水平一般不宜超过下列数值:

线路断路器的变电所侧 1.3p.u.

线路断路器的线路侧 1.4p.u.

b)对范围Ⅰ中的 110kV 及 220kV 系统,工频过电压一般不超过 1.3p.u.;3～10kV 和 35～66kV 系统,一般分别不超过 $1.1\sqrt{3}$p.u. 和$\sqrt{3}$p.u.。

应避免在 110kV 及 220kV 有效接地系统中偶然形成局部不接地系统,并产生较高的工

频过电压。对可能形成这种局部系统、低压侧有电源的110kV及220kV变压器不接地的中性点应装设间隙。因接地故障形成局部不接地系统时该间隙应动作；系统以有效接地方式运行发生单相接地故障时间隙不应动作。间隙距离的选择除应满足这两项要求外，还应兼顾雷电过电压下保护变压器中性点标准分级绝缘的要求(参见7.3.5)。

4.1.2 谐振过电压包括线性谐振和非线性(铁磁)谐振过电压，一般因操作或故障引起系统元件参数出现不利组合而产生。应采取防止措施，避免出现谐振过电压的条件；或用保护装置限制其幅值和持续时间。

a)为防止发电机电感参数周期性变化引起的发电机自励磁(参数谐振)过电压，一般可采取下列防止措施：

1)使发电机的容量大于被投入空载线路的充电功率；

2)避免发电机带空载线路启动或避免以全电压向空载线路合闸；

3)快速励磁自动调节器可限制发电机同步自励过电压。发电机异步自励过电压，仅能用速动过电压继电保护切机以限制其作用时间。

b)应该采用转子上装设阻尼绕组的水轮发电机，以限制水轮发电机不对称短路或负荷严重不平衡时产生的谐振过电压。

4.1.3 范围Ⅱ的系统当空载线路上接有并联电抗器，且其零序电抗小于线路零序容抗时，如发生非全相运行状态(分相操动的断路器故障或采用单相重合闸时)，由于线间电容的影响，断开相上可能发生谐振过电压。

上述条件下由于并联电抗器铁芯的磁饱和特性，有时在断路器操作产生的过渡过程激发下，可能发生以工频基波为主的铁磁谐振过电压。

在并联电抗器的中性点与大地之间串接一接地电抗器，一般可有效地防止这种过电压。该接地电抗器的电抗值宜按补偿并联电抗器所接线路的相间电容选择，同时应考虑以下因素：

a)并联电抗器、接地电抗器的电抗及线路容抗的实际值与设计值的变异范围；

b)限制潜供电流的要求；

c)连接接地电抗器的并联电抗器中性点绝缘水平。

4.1.4 范围Ⅱ的系统中，当空载线路(或其上接有空载变压器时)由电源变压器断路器合闸、重合闸或由只带有空载线路的变压器低压侧合闸、带电线路末端的空载变压器合闸以及系统解列等情况下，如由这些操作引起的过渡过程的激发使变压器铁芯磁饱和、电感作周期性变化，回路等值电感在2倍工频下的电抗与2倍工频下线路入口容抗接近相等时，可能产生以2次谐波为主的高次谐波谐振过电压。

应尽量避免产生2次谐波谐振的运行方式、操作方式以及防止在故障时出现该种谐振的接线；确实无法避免时，可在变电所线路继电保护装置内增设过电压速断保护，以缩短该过电压的持续时间。

4.1.5 范围Ⅰ的系统中有可能出现下列谐振过电压：

a)110kV及220kV系统采用带有均压电容的断路器开断连接有电磁式电压互感器的空载母线，经验算有可能产生铁磁谐振过电压时，宜选用电容式电压互感器。已装有电磁式电压互感器时，运行中应避免可能引起谐振的操作方式，必要时可装设专门消除此类铁磁谐振的装置。

b)由单一电源侧用断路器操作中性点不接地的变压器出现非全相或熔断器非全相熔断

时,如变压器的励磁电感与对地电容产生铁磁谐振,能产生 2.0p.u～3.0p.u. 的过电压;有双侧电源的变压器在非全相分合闸时,由于两侧电源的不同步在变压器中性点上可出现接近于 2.0p.u. 的过电压,如产生铁磁谐振,则会出现更高的过电压。

c)经验算如断路器操作中因操动机构故障出现非全相或严重不同期时,产生的铁磁谐振过电压,可能危及中性点为标准分级绝缘、运行时,中性点不接地的 110kV 及 220kV 变压器的中性点绝缘,宜在中性点装设间隙,对该间隙的要求与 4.1.1 b)同。在操作过程中,应先将变压器中性点临时接地。

有单侧电源的变压器,如另一侧带有同期调相机或较大的同步电动机,也类似有双侧电源的情况。

d)3～66kV 不接地系统或消弧线圈接地系统偶然脱离消弧线圈的部分,当连接有中性点接地的电磁式电压互感器的空载母线(其上带或不带空载短线路),因合闸充电或在运行时接地故障消除等原因的激发,使电压互感器过饱和则可能产生铁磁谐振过电压。为限制这类过电压,可选取下列措施:

1)选用励磁特性饱和点较高的电磁式电压互感器。

2)减少同一系统中电压互感器中性点接地的数量,除电源侧电压互感器高压绕组中性点接地外,其他电压互感器中性点尽可能不接地。

3)个别情况下,在 10kV 及以下的母线上装设中性点接地的星形接线电容器组或用一段电缆代替架空线路以减小 X_{C0},使 $X_{C0}<0.01X_m$。

注:X_m 为电压互感器在线电压作用下单相绕组的励磁电抗。

4)在互感器的开口三角形绕组装设 $R_\Delta \leqslant 0.4(X_m/K_{13}^2)$ 的电阻(K_{13} 为互感器一次绕组与开口三角形绕组的变比)或装设其他专门消除此类铁磁谐振的装置。

5)10kV 及以下互感器高压绕组中性点经 $R_{p.n}\geqslant 0.06X_m$(容量大于 600W)的电阻接地。

4.1.6 3～66kV 不接地及消弧线圈接地系统,应采用性能良好的设备并提高运行维护水平,以避免在下述条件下产生铁磁谐振过电压:

a)配电变压器高压绕组对地短路;

b)送电线路一相断线且一端接地或不接地。

4.1.7 有消弧线圈的较低电压系统,应适当选择消弧线圈的脱谐度,以便避开谐振点;无消弧线圈的较低电压系统,应采取增大其对地电容等措施(如安装电力电容器等),以防止零序电压通过电容,如变压器绕组间或两条架空线路间的电容耦合,由较高电压系统传递到中性点不接地的较低电压系统,或由较低电压系统传递到较高电压系统,或回路参数形成串联谐振条件,产生高幅值的转移过电压。

11.2.2.2 操作过电压及保护

规范引用 《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》(DL/T 620—1997)

4.2.1 线路合闸和重合闸过电压。

空载线路合闸时,由于线路电感—电容的振荡将产生合闸过电压。线路重合时,由于电源电势较高以及线路上残余电荷的存在,加剧了这一电磁振荡过程,使过电压进一步提高。

a)范围Ⅱ中,线路合闸和重合闸过电压对系统中设备绝缘配合有重要影响,应该结合系统条件预测空载线路合闸、单相重合闸和成功、非成功的三相重合闸(如运行中使用时)的相

对地和相间过电压。

预测这类操作过电压的条件如下：

1)对于发电机—变压器—线路单元接线的空载线路合闸，线路合闸后，电源母线电压为系统最高电压；对于变电所出线则为相应运行方式下的实际母线电压。

2)成功的三相重合闸前，线路受端曾发生单相接地故障；非成功的三相重合闸时，线路受端有单相接地故障。

b)空载线路合闸、单相重合闸和成功的三相重合闸(如运行中使用时)，在线路上产生的相对地统计过电压，对 330kV 和 500kV 系统分别不宜大于 2.2p.u. 和 2.0p.u.。

c)限制这类过电压的最有效措施是在断路器上安装合闸电阻。对范围Ⅱ，当系统的工频过电压符合 4.1.1 要求且符合以下参考条件时，可仅用安装于线路两端(线路断路器的线路侧)上的金属氧化物避雷器(MOA)将这类操作引起的线路的相对地统计过电压限制到要求值以下。这些参考条件是：

1)发电机—变压器—线路单元接线时的参考条件见表 11-18。

表 11-18 仅用 MOA 限制合闸、重合闸过电压的条件

系统标称电压/kV	发电机容量/MW	线路长度/km	系统标称电压/kV	发电机容量/MW	线路长度/km
330	200 300	＜100 ＜200	500	200 300 ≥500	＜100 ＜150 ＜200

2)系统中变电所出线时的参考条件为：

330kV ＜200km

500kV ＜200km

在其他条件下，可否仅用金属氧化物避雷器限制合闸和重合闸过电压，需经校验确定。

d)范围Ⅰ的线路合闸和重合闸过电压一般不超过 3.0p.u.，通常无须采取限制措施。

4.2.2 空载线路分闸过电压。

空载线路开断时，如断路器发生重击穿，将产生操作过电压。

a)对范围Ⅱ的线路断路器，应要求在电源对地电压为 1.3p.u. 条件下开断空载线路不发生重击穿。

b)对范围Ⅰ，110kV 及 220kV 开断架空线路该过电压不超过 3.0p.u.；开断电缆线路可能超过 3.0p.u.。

为此，开断空载架空线路宜采用不重击穿的断路器；开断电缆线路应该采用不重击穿的断路器。

c)对范围Ⅰ，66kV 及以下系统中，开断空载线路断路器发生重击穿时的过电压一般不超过 3.5p.u.。开断前系统已有单相接地故障，使用一般断路器操作时产生的过电压可能超过 4.0p.u.。为此，选用操作断路器时，应该使其开断空载线路过电压不超过 4.0p.u.。

4.2.3 线路非对称故障分闸和振荡解列过电压。

系统送受端联系薄弱，如线路非对称故障导致分闸，或在系统振荡状态下解列，将产生线路非对称故障分闸或振荡解列过电压。

对范围Ⅱ的线路，宜对这类过电压进行预测。预测前一过电压的条件，可选线路受端存

在单相接地故障,分闸时线路送受端电势功角差应按实际情况选取。

当过电压超过 4.2.1 b)所列数值时,可用安装在线路两端的金属氧化物避雷器加以限制。

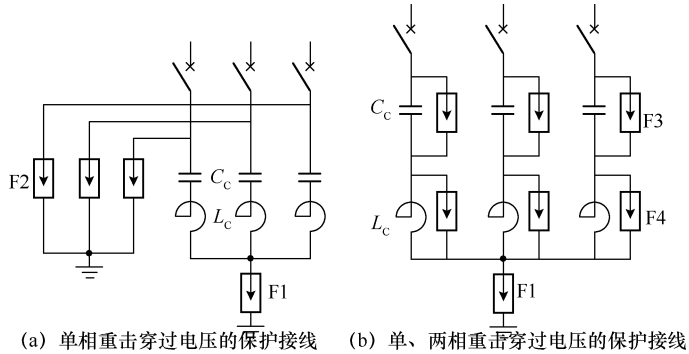
4.2.4 隔离开关操作空载母线的过电压。

隔离开关操作空载母线时,由于重击穿将会产生幅值可能超过 2.0p.u.、频率为数百千赫至兆赫的高频振荡过电压,这对范围Ⅱ的电气装置有一定危险。为此,宜符合以下要求:

a)隔离开关操作由敞开式配电装置构成的变电所空载母线时的过电压,可能使电流互感器一次绕组进出线之间的套管闪络放电,宜采用金属氧化物避雷器对其加以保护。

b)隔离开关操作气体绝缘全封闭组合电器(GIS)变电所的空载母线时,会产生频率更高的过电压,它可能对匝间绝缘裕度不高的变压器构成危胁。为此,宜对采用的操作方式加以校核,尽量避免可能引起危险的操作方式。

4.2.5 3～66kV 系统开断并联电容补偿装置如断路器发生单相重击穿时,电容器高压端对地过电压可能超过 4.0p.u.。开断前电源侧有单相接地故障时,该过电压将更高。开断时如发生两相重击穿,电容器极间过电压可能超过 $2.5\sqrt{2}U_{n.c}$。



(a) 单相重击穿过电压的保护接线　(b) 单、两相重击穿过电压的保护接线

图 11-24 并联电容补偿装置的避雷器保护接线

操作并联电容补偿装置,应采用开断时不重击穿的断路器。对于需频繁投切的补偿装置,宜按图 11-24(a)装设并联电容补偿装置金属氧化物避雷器(F1 或 F2),作为限制单相重击穿过电压的后备保护装置。在电源侧有单相接地故障不要求进行补偿装置开断操作的条件下,宜采用 F1。断路器操作频繁且开断时可能发生重击穿或者合闸过程中触头有弹跳现象时,宜按图 11-24(b)装设并联电容补偿装置金属氧化物避雷器(F1 及 F3 或 F4)。F3 或 F4 用以限制两相重击穿时在电容器极间出现的过电压。当并联电容补偿装置电抗器的电抗率不低于 12%时,宜采用 F4。

注:$U_{n.c}$为电容器的额定电压。

4.2.6 操作空载变压器和并联电抗器等的过电压。

a)开断空载变压器由于断路器强制熄弧(截流)产生的过电压,与断路器型式、变压器铁芯材料、绕组型式、回路元件参数和系统接地方式等有关。

当开断具有冷轧硅钢片的变压器时,过电压一般不超过 2.0p.u.,可不采取保护措施。

开断具有热轧硅钢片铁芯的 110kV 及 220kV 变压器的过电压一般不超过 3.0p.u.;66kV 及以下变压器一般不超过 4.0p.u.。

采用熄弧性能较强的断路器开断激磁电流较大的变压器以及并联电抗补偿装置产生的

高幅值过电压，可在断路器的非电源侧装设阀式避雷器加以限制。保护变压器的避雷器可装在其高压侧或低压侧。但高、低压侧系统接地方式不同时，低压侧宜装设操作过电压保护水平较低的避雷器。

b)在可能只带一条线路运行的变压器中性点消弧线圈上，宜用阀式避雷器限制切除最后一条线路两相接地故障时，强制开断消弧线圈电流在其上产生的过电压。

c)空载变压器和并联电抗补偿装置合闸产生的操作过电压一般不超过 2.0p.u.，可不采取保护措施。

4.2.7 在开断高压感应电动机时，因断路器的截流、三相同时开断和高频重复重击穿等会产生过电压(后两种仅出现于真空断路器开断时)。过电压幅值与断路器熄弧性能、电动机和回路元件参数等有关。开断空载电动机的过电压一般不超过 2.5p.u.。开断启动过程中的电动机时，截流过电压和三相同时开断过电压可能超过 4.0p.u.，高频重复重击穿过电压可能超过 5.0p.u.。采用真空断路器或采用的少油断路器截流值较高时，宜在断路器与电动机之间装设旋转电机金属氧化物避雷器或 R—C 阻容吸收装置。

高压感应电动机合闸的操作过电压一般不超过 2.0p.u.，可不采取保护措施。

4.2.8 66kV 及以下系统发生单相间歇性电弧接地故障时，可产生过电压，过电压的高低随接地方式不同而异。一般情况下最大过电压不超过下列数值：

不接地	3.5p.u.
消弧线圈接地系统	3.2p.u.
电阻接地	2.5p.u.

具有限流电抗器、电动机负荷，且设备参数配合不利的 3～10kV 某些不接地系统，发生单相间歇性电弧接地故障时，可能产生危及设备相间或相对地绝缘的过电压。对这种系统根据负荷性质和工程的重要程度，可进行必要的过电压预测，以确定保护方案。

4.2.9 采用无间隙金属氧化物避雷器限制各类操作过电压时，其持续运行电压和额定电压不应低于表 11-16 所列数值。避雷器应能承受操作过电压作用的能量。

4.2.10 为监测范围Ⅱ系统运行中出现的工频过电压、谐振过电压和操作过电压，宜在变电所安装过电压波形或幅值的自动记录装置，并妥为收集实测结果。

11.3 建筑物防雷的分类及措施

11.3.1 建筑物防雷的分类

11.3.1.1 建筑物防雷的分类

规范引用 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

3.0.1 建筑物应根据建筑物重要性、使用性质、发生雷电事故的可能性和后果，按防雷要求分为三类。

3.0.2 在可能发生对地闪击的地区，遇下列情况之一时，应划为第一类防雷建筑物：

1. 凡制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建筑物，因电火花而引起爆炸、爆轰，会

造成巨大破坏和人身伤亡者。

2. 具有0区或20区爆炸危险场所的建筑物。

3. 具有1区或21区爆炸危险场所的建筑物,因电火花而引起爆炸,会造成巨大破坏和人身伤亡者。

3.0.3 在可能发生对地闪击的地区,遇下列情况之一时,应划为第二类防雷建筑物:

1. 国家级重点文物保护的建筑物。

2. 国家级的会堂、办公建筑物、大型展览和博览建筑物、大型火车站和飞机场、国宾馆,国家级档案馆、大型城市的重要给水泵房等特别重要的建筑物。

注:飞机场不含停放飞机的露天场所和跑道。

3. 国家级计算中心、国际通信枢纽等对国民经济有重要意义的建筑物。

4. 国家特级和甲级大型体育馆。

5. 制造、使用或贮存火炸药及其制品的危险建筑物,且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者。

6. 具有1区或21区爆炸危险场所的建筑物,且电火花不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者。

7. 具有2区或22区爆炸危险场所的建筑物。

8. 有爆炸危险的露天钢质封闭气罐。

9. 预计雷击次数大于0.05次/a的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物以及火灾危险场所。

10. 预计雷击次数大于0.25次/a的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般性工业建筑物。

3.0.4 在可能发生对地闪击的地区,遇下列情况之一时,应划为第三类防雷建筑物:

1. 省级重点文物保护的建筑物及省级档案馆。

2. 预计雷击次数大于或等于0.01次/a,且小于或等于0.05次/a的部、省级办公建筑物和其他重要或人员密集的公共建筑物,以及火灾危险场所。

3. 预计雷击次数大于或等于0.05次/a,且小于或等于0.25次/a的住宅、办公楼等一般性民用建筑物或一般性工业建筑物。

4. 在平均雷暴日大于15d/a的地区,高度在15m及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物;在平均雷暴日小于或等于15d/a的地区,高度在20m及以上的烟囱、水塔等孤立的高耸建筑物。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

11.2.3 符合下列情况之一的建筑物,应划为第二类防雷建筑物:

1. 高度超过100m的建筑物。

2. 国家级重点文物保护建筑物。

3. 国家级的会堂、办公建筑物、档案馆、大型博展建筑物;特大型、大型铁路旅客站;国际性的航空港、通信枢纽;国宾馆、大型旅游建筑物;国际港口客运站。

4. 国家级计算中心、国家级通信枢纽等对国民经济有重要意义且装有大量电子设备的建筑物。

5. 年预计雷击次数大于0.06的部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的公共建筑

物。

6. 年预计雷击次数大于 0.3 的住宅、办公楼等一般民用建筑物。

11.2.4 符合下列情况之一的建筑物，应划为第三类防雷建筑物：

1. 省级重点文物保护建筑物及省级档案馆。

2. 省级大型计算中心和装有重要电子设备的建筑物。

3. 19 层及以上的住宅建筑和高度超过 50m 的其他民用建筑物。

4. 年预计雷击次数大于或等于 0.012 且小于或等于 0.06 的部、省级办公建筑物及其他重要或人员密集的公共建筑物。

5. 年预计雷击次数大于或等于 0.06 且小于或等于 0.3 的住宅、办公楼等一般民用建筑物。

6. 建筑群中最高的建筑物或位于建筑群边缘高度超过 20m 的建筑物。

7. 通过调查确认当地遭受过雷击灾害的类似建筑物；历史上雷害事故严重地区或雷害事故较多地区的较重要建筑物。

8. 在平均雷暴日大于 15d/a 的地区，高度大于或等于 15m 的烟囱；水塔等孤立的高耸构筑物；在平均雷暴日小于或等于 15d/a 的地区，高度大于或等于 20m 的烟囱、水塔等孤立的高耸构筑物。

11.3.1.2 建筑物电子信息系统防雷的分类

《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)

3.1 地区雷暴日等级划分

3.1.1 地区雷暴日等级应根据年平均雷暴日数划分。

3.1.2 地区雷暴日数应以国家公布的当地年平均雷暴日数为准。

3.1.3 按年平均雷暴日数，地区雷暴日等级宜划分为少雷区、中雷区、多雷区、强雷区：

1. 少雷区：年平均雷暴日在 25d 及以下的地区；

2. 中雷区：年平均雷暴日大于 25d，不超过 40d 的地区；

3. 多雷区：年平均雷暴日大于 40d，不超过 90d 的地区；

4. 强雷区：年平均雷暴日超过 90d 的地区。

3.2 雷电防护区划分

3.2.1 需要保护和控制雷电电磁脉冲环境的建筑物应按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第 3.2.2 条的规定划分为不同的雷电防护区。

3.2.2 雷电防护区应符合下列规定。

1. $LPZ0_A$ 区：受直接雷击和全部雷电电磁场威胁的区域。该区域的内部系统可能受到全部或部分雷电浪涌电流的影响；

2. $LPZ0_B$ 区：直接雷击的防护区域，但该区域的威胁仍是全部雷电电磁场。该区域的内部系统可能受到部分雷电浪涌电流的影响；

3. LPZ1 区：由于边界处分流和浪涌保护器的作用使浪涌电流受到限制的区域。该区域的空间屏蔽可以衰减雷电电磁场；

4. LPZ2～n 后续防雷区：由于边界处分流和浪涌保护器的作用使浪涌电流受到进一步限制的区域。该区域的空间屏蔽可以进一步衰减雷电电磁场。

3.2.3 保护对象应置于电磁特性与该对象耐受能力相兼容的雷电防护区内。

11.3.1.3 雷电防护等级划分和雷击风险评估

《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)





4.1 一般规定

4.1.1 建筑物电子信息系统可按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第4.2节、第4.3节或第4.4节规定的方法进行雷击风险评估。

4.1.2 建筑物电子信息系统可按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第4.2节防雷装置的拦截效率或《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第4.3节电子信息系统的重要性、使用性质和价值确定雷电防护等级。

4.1.3 对于重要的建筑物电子信息系统,宜分别采用《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第4.2节和第4.3节规定的两种方法进行评估,按其中较高防护等级确定。

4.1.4 重点工程或用户提出要求时,可按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第4.4节雷电防护风险管理方法确定雷电防护措施。

4.2 按防雷装置的拦截效率确定雷电防护等级

4.2.1 建筑物及入户设施年预计雷击次数 N 值可按下式确定:

$$N = N_1 + N_2 \tag{11-22}$$

式中 N_1——建筑物年预计雷击次数(次/a),按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录A的规定计算;

N_2——建筑物入户设施年预计雷击次数(次/a),按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录A的规定计算。

4.2.2 建筑物电子信息系统设备因直接雷击和雷电电磁脉冲可能造成损坏,可接受的年平均最大雷击次数 N_c 可按下式计算:

$$N_c = 5.8 \times 10^{-1}/C \tag{11-23}$$

式中 C——各类因子,按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录A的规定取值。

4.2.3 确定电子信息系统设备是否需要安装雷电防护装置时,应将 N 和 N_c 进行比较:

1. 当 $N \leqslant N_c$ 时,可不安装雷电防护装置;
2. 当 $N > N_c$ 时,应安装雷电防护装置。

4.2.4 安装雷电防护装置时,可按下式计算防雷装置拦截效率 E:

$$E = 1 - N_c/N \tag{11-24}$$

4.2.5 电子信息系统雷电防护等级应按防雷装置拦截效率 E 确定,并应符合下列规定:

1. 当 $E > 0.98$ 时,定为A级;
2. 当 $0.90 < E \leqslant 0.98$ 时,定为B级;
3. 当 $0.80 < E \leqslant 0.90$ 时,定为C级;
4. 当 $E \leqslant 0.80$ 时,定为D级。

4.3 按电子信息系统的重要性、使用性质和价值确定雷电防护等级

4.3.1 建筑物电子信息系统可根据其重要性、使用性质和价值,按表11-19选择确定

雷电防护等级。

表 11-19 建筑物电子信息系统雷电防护等级

雷电防护等级	建筑物电子信息系统
A级	1. 国家级计算中心、国家级通信枢纽、特级和一级金融设施、大中型机场、国家级和省级广播电视中心、枢纽港口、火车枢纽站、省级城市水、电、气、热等城市重要公用设施的电子信息系统； 2. 一级安全防范单位，如国家文物、档案库的闭路电视监控和报警系统； 3. 三级医院电子医疗设备
B级	1. 中型计算中心、二级金融设施、中型通信枢纽、移动通信基站、大型体育场(馆)、小型机场、大型港口、大型火车站的电子信息系统； 2. 二级安全防范单位，如省级文物、档案库的闭路电视监控和报警系统； 3. 雷达站、微波站电子信息系统，高速公路监控和收费系统； 4. 二级医院电子医疗设备； 5. 五星及更高星级宾馆电子信息系统
C级	1. 三级金融设施、小型通信枢纽电子信息系统； 2. 大中型有线电视系统； 3. 四星及以下级宾馆电子信息系统
D级	除上述 A、B、C 级以外的一般用途的需防护电子信息设备

注：表中未列举的电子信息系统也可参照本表选择防护等级。

4.4 按风险管理要求进行雷击风险评估

4.4.1 因雷击导致建筑物的各种损失对应的风险分量 R_X 可按下式估算：

$$R_X = N_X \times P_X \times L_X \tag{11-25}$$

式中 N_X——年平均雷击危险事件次数；

P_X——每次雷击损害概率；

L_X——每次雷击损失率。

4.4.2 建筑物的雷击损害风险 R 可按下式估算：

$$R = \sum R_x \tag{11-26}$$

式中 R——建筑物的雷击损害风险涉及的风险分量 $R_A \sim R_z$，按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录 B 表 B2.6 的规定确定。

4.4.3 根据风险管理的要求，应计算建筑物雷击损害风险 R，并与风险容许值比较。当所有风险均小于或等于风险容许值时，可不增加防雷措施；当某风险大于风险容许值时，应增加防雷措施减小该风险，使其小于或等于风险容许值，并宜评估雷电防护措施的经济合理性。详细评估和计算方法应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录 B 的规定。

11.3.2 建筑物防雷的措施

11.3.2.1 基本规定

规范引用 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)



4.1.1 各类防雷建筑物应设防直击雷的外部防雷装置,并应采取防闪电电涌侵入的措施。

第一类防雷建筑物和《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第3.0.3条第5～7款所规定的第二类防雷建筑物,还应采取防闪电感应的措施。

4.1.2 各类防雷建筑物应设内部防雷装置,并应符合下列规定:

1. 在建筑物的地下室或地面层处,下列物体应与防雷装置做防雷等电位联结:

1)建筑物金属体。

2)金属装置。

3)建筑物内系统。

4)进出建筑物的金属管线。

2. 除本条第1款的措施外,外部防雷装置与建筑物金属体、金属装置、建筑物内系统之间,还应满足间隔距离的要求。

4.1.3 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第3.0.3条第2～4款所规定的第二类防雷建筑物还应采取防雷击电磁脉冲的措施。其他各类防雷建筑物,当其建筑物内系统所接设备的重要性高,以及所处雷击磁场环境和加于设备的闪电电涌无法满足要求时,也应采取防雷击电磁脉冲的措施。防雷击电磁脉冲的措施应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第6章的规定。

11.3.2.2 第一类防雷建筑物的防雷措施

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

4.2.1 第一类防雷建筑物防直击雷的措施应符合下列规定:

1. 应装设独立接闪杆或架空接闪线或网。架空接闪网的网格尺寸不应大于5m×5m或6m×4m。

2. 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等的管口外的下列空间应处于接闪器的保护范围内:

1)当有管帽时应按表11-20的规定确定。

2)当无管帽时,应为管口上方半径5m的半球体。

3)接闪器与雷闪的接触点应设在本款第1项或第2项所规定的空间之外。

表11-20 有管帽的管口外处于接闪器保护范围内的空间

装置内的压力与周围空气压力的压力差/kPa	排放物对比于空气	管帽以上的垂直距离/m	距管口处的水平距离/m
＜5	重于空气	1	2
5～25	重于空气	2.5	5
≤25	轻于空气	2.5	5
＞25	重或轻于空气	5	5

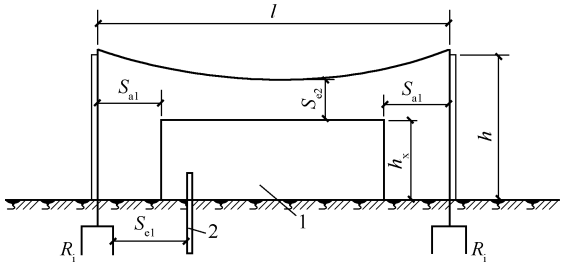
注:相对密度小于或等于0.75的爆炸性气体规定为轻于空气的气体;相对密度大于0.75的爆炸性气体规定为重于空气的气体。

3. 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等,当其排放物达不到爆炸浓度、长期点火燃烧、一排放就点火燃烧,以及发生事故时排放物才达到爆炸浓度的通风

管、安全阀，接闪器的保护范围应保护到管帽，无管帽时可仅保护到管口。

4. 独立接闪杆的杆塔、架空接闪线的端部和架空接闪网的每根支柱处应至少设一根引下线。对用金属制成或有焊接、绑扎连接钢筋网的杆塔、支柱，宜利用金属杆塔或钢筋网作为引下线。

5. 独立接闪杆和架空接闪线或网的支柱及其接地装置与被保护建筑物及与其有联系的管道、电缆等金属物之间的间隔距离（见图 11-25），应按下列公式计算，但不得小于 3m。



1—被保护建筑物；2—金属管道

图 11-25 防雷装置至被保护物的间隔距离

1）地上部分：

$$\text{当 } h_x < 5R_i \text{ 时：} S_{a1} \geqslant 0.4(R_i + 0.1h_x) \tag{11-27}$$

$$\text{当 } h_x \geqslant 5R_i \text{ 时：} S_{a1} \geqslant 0.1(R_i + h_x) \tag{11-28}$$

2）地下部分：

$$S_{e1} \geqslant 0.4R_i \tag{11-29}$$

式中 S_{a1}——空气中的间隔距离（m）；

S_{e1}——地中的间隔距离（m）；

R_i——独立接闪杆、架空接闪线或网支柱处接地装置的冲击接地电阻（Ω）；

h_x——被保护建筑物或计算点的高度（m）。

6 架空接闪线至屋面和各种突出屋面的风帽、放散管等物体之间的间隔距离（见图 11-25），应按下列公式计算，但不应小于 3m。

1）当 $\left(h + \frac{l}{2}\right) < 5R_i$ 时：

$$S_{a2} \geqslant 0.2R_i + 0.03\left(h + \frac{l}{2}\right) \tag{11-30}$$

2）当 $\left(h + \frac{l}{2}\right) \geqslant 5R_i$ 时：

$$S_{a2} \geqslant 0.05R_i + 0.06\left(h + \frac{l}{2}\right) \tag{11-31}$$

式中 S_{a2}——接闪线至被保护物在空气中的间隔距离（m）；

h——接闪线的支柱高度（m）；

l——接闪线的水平长度（m）。

7 架空接闪网至屋面和各种突出屋面的风帽、放散管等物体之间的间隔距离，应按下列公式计算，但不应小于 3m。

1）当 $(h + l_1) < 5R_i$ 时：

$$S_{a2} \geqslant \frac{1}{n}[0.4R_i + 0.6(h + l_1)] \tag{11-32}$$

2)当$(h+l_1)\geqslant 5R_i$时:

$$S_{a2} \geqslant \frac{1}{n}[0.1R_i + 0.12(h + l_1)] \tag{11-33}$$

式中 S_{a2}——接闪网至被保护物在空气中的间隔距离(m);

l_1——从接闪网中间最低点沿导体至最近支柱的距离(m);

n——从接闪网中间最低点沿导体至最近不同支柱并有同一距离 l_1 的个数。

8. 独立接闪杆、架空接闪线或架空接闪网应设独立的接地装置,每一引下线的冲击接地电阻不宜大于10Ω。在土壤电阻率高的地区,可适当增大冲击接地电阻,但在3000Ω·m以下的地区,冲击接地电阻不应大于30Ω。

4.2.2 第一类防雷建筑物防闪电感应应符合下列规定:

1. 建筑物内的设备、管道、构架、电缆金属外皮、钢屋架、钢窗等较大金属物和突出屋面的放散管、风管等金属物,均应接到防闪电感应的接地装置上。

金属屋面周边每隔18～24m应采用引下线接地一次。

现场浇灌的或用预制构件组成的钢筋混凝土屋面,其钢筋网的交叉点应绑扎或焊接,并应每隔18～24m采用引下线接地一次。

2. 平行敷设的管道、构架和电缆金属外皮等长金属物,其净距小于100mm时,应采用金属线跨接,跨接点的间距不应大于30m;交叉净距小于100mm时,其交叉处也应跨接。

当长金属物的弯头、阀门、法兰盘等连接触的过渡电阻大于0.03Ω时,连接处应用金属线跨接。对有不少于5根螺栓连接的法兰盘,在非腐蚀环境下,可不跨接。

3. 防闪电感应的接地装置应与电气和电子系统的接地装置共用,其工频接地电阻不宜大于10Ω。防闪电感应的接地装置与独立接闪杆、架空接闪线或架空接闪网的接地装置之间的间隔距离,应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.2.1条第5款的规定。

当屋内设有等电位联结的接地干线时 ,其与防闪电感应接地装置的连接不应少于两处。

4.2.3 第一类防雷建筑物防闪电电涌侵入的措施应符合下列规定:

1. 室外低压配电线路应全线采用电缆直接埋地敷设,在入户处应将电缆的金属外皮、钢管接到等电位联结带或防闪电感应的接地装置上。

2. 当全线采用电缆有困难时,应采用钢筋混凝土杆和铁横担的架空线,并应使用一段金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入。架空线与建筑物的距离不应小于15m。

在电缆与架空线连接处,还应装设户外型电涌保护器。电涌保护器、电缆金属外皮、钢管和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地,其冲击接地电阻不宜大于30Ω。所装设的电涌保护器应选用Ⅰ级试验产品,其电压保护水平应小于或等于2.5kV,其每一保护模式应选冲击电流等于或大于10kA;若无户外型电涌保护器,应选用户内型电涌保护器,其使用温度应满足安装处的环境温度,并应安装在防护等级为IP54的箱内。

当电涌保护器的接线型式为《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表J.1.2中的接线型式2时,接在中性线和PE线间电涌保护器的冲击电流,当为三相系统时不应小于40kA,当为单相系统时不应小于20kA。

3. 当架空线转换成一段金属铠装电缆或护套电缆穿钢管直接埋地引入时,其埋地长度

可按下式计算：

$$l \geqslant 2\sqrt{\rho} \tag{11-34}$$

式中 l——电缆铠装或穿电缆的钢管埋地直接与土壤接触的长度(m)；

ρ——埋电缆处的土壤电阻率(Ω·m)。

4. 在入户处的总配电箱内是否装设电涌保护器应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第6章的规定确定。当需要安装电涌保护器时，电涌保护器的最大持续运行电压值和接线型式应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录J的规定确定；连接电涌保护器的导体截面应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表5.1.2的规定取值。

5. 电子系统的室外金属导体线路宜全线采用有屏蔽层的电缆埋地或架空敷设，其两端的屏蔽层、加强钢线、钢管等应等电位联结到入户处的终端箱体上，在终端箱体内是否装设电涌保护器应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第6章的规定确定。

6. 当通信线路采用钢筋混凝土杆的架空线时，应使用一段护套电缆穿钢管直接埋地引入，其埋地长度应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.3)计算，且不应小于15m。在电缆与架空线连接处，还应装设户外型电涌保护器。电涌保护器、电缆金属外皮、钢管和绝缘子铁脚、金具等应连在一起接地，其冲击接地电阻不宜大于30Ω。所装设的电涌保护器应选用D1类高能量试验的产品，其电压保护水平和最大持续运行电压值应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录J的规定确定，连接电涌保护器的导体截面应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表5.1.2的规定取值，每台电涌保护器的短路电流应等于或大于2kA；若无户外型电涌保护器，可选用户内型电涌保护器，但其使用温度应满足安装处的环境温度，并应安装在防护等级为IP54的箱内。在入户处的终端箱体内是否装设电涌保护器应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第6章的规定确定。

7. 架空金属管道，在进出建筑物处，应与防闪电感应的接地装置相连。距离建筑物100m内的管道，应每隔25m接地一次，其冲击接地电阻不应大于30Ω，并应利用金属支架或钢筋混凝土支架的焊接、绑扎钢筋网作为引下线，其钢筋混凝土基础宜作为接地装置。

埋地或地沟内的金属管道，在进出建筑物处应等电位联结到等电位联结带或防闪电感应的接地装置上。

4.2.4 当难以装设独立的外部防雷装置时，可将接闪杆或网格不大于5m×5m或6m×4m的接闪网或由其混合组成的接闪器直接装在建筑物上，接闪网应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录B的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设；当建筑物高度超过30m时，首先应沿屋顶周边敷设接闪带，接闪带应设在外墙外表面或屋檐边垂直面上，也可设在外墙外表面或屋檐垂直面外，并必须符合下列规定：

1. 接闪器之间应互相连接。

2. 引下线不应少于两根，并应沿建筑物四周和内庭院四周均匀或对称布置，其间距沿周长计算不宜大于12m。

3. 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的管道应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.2.1条第2、3款的规定。

4. 建筑物应装设等电位联结环，环间垂直距离不应大于12m，所有引下线、建筑物的金属结构和金属设备均应连到环上。等电位联结环可利用电气设备的等电位联结干线环路。

5. 外部防雷的接地装置应围绕建筑物敷设成环形接地体，每根引下线的冲击接地电阻

不应大于10Ω,并应与电气和电子系统等接地装置及所有进入建筑物的金属管道相连,此接地装置可兼作防雷电感应接地之用。

6. 当每根引下线的冲击接地电阻大于10Ω时,外部防雷的环形接地体宜按下列方法敷设:

1)当土壤电阻率小于或等于500Ω·m时,对环形接地体所包围面积的等效圆半径小于5m的情况,每一引下线处应补加水平接地体或垂直接地体。

2)本款第1项补加水平接地体时,其最小长度应按下式计算:

$$l_r = 5 - \sqrt{\frac{A}{\pi}} \tag{11-35}$$

式中 $\sqrt{\frac{A}{\pi}}$——环形接地体所包围面积的等效圆半径(m);

l_r——补加水平接地体的最小长度(m);

A——环形接地体所包围的面积(m^2)。

3)本款第1项补加垂直接地体时,其最小长度应按下式计算:

$$l_v = \frac{5 - \sqrt{\frac{A}{\pi}}}{2} \tag{11-36}$$

式中 l_v——补加垂直接地体的最小长度(m)。

4)当土壤电阻率大于500Ω·m、小于或等于3000Ω·m,且对环形接地体所包围面积的等效圆半径符合下式的计算时,每一引下线处应补加水平接地体或垂直接地体:

$$\sqrt{\frac{A}{\pi}} < \frac{11\rho - 3600}{380} \tag{11-37}$$

5)本款第4项补加水平接地体时,其最小总长度应按下式计算:

$$l_r = \left(\frac{11\rho - 3600}{380}\right) - \sqrt{\frac{A}{\pi}} \tag{11-38}$$

6)本款第4项补加垂直接地体时,其最小总长度应按下式计算:

$$l_v = \frac{\left(\frac{11\rho - 3600}{380}\right)\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{2} \tag{11-3}$$

注:按本款方法敷设接地体以及环形接地体所包围的面积的等效圆半径等于或大于所规定的值时,每根引下线的冲击接地电阻可不作规定。共用接地装置的接地电阻按50Hz电气装置的接地电阻确定,应为不大于按人身安全所确定的接地电阻值。

7. 当建筑物高于30m时,还应采取下列防侧击的措施:

1)应从30m起每隔不大于6m沿建筑物四周设水平接闪带并与引下线相连。

2)30m及以上外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物应与防雷装置连接。

8. 在电源引入的总配电箱处应装设Ⅰ级试验的电涌保护器。电涌保护器的电压保护水平值应小于或等于2.5kV。每一保护模式的冲击电流值,当无法确定时,冲击电流应取等于或大于12.5kA。

9. 电源总配电箱处所装设的电涌保护器,其每一保护模式的冲击电流值,当电源线路无屏蔽层时宜按式(11-40)计算,当有屏蔽层时宜按式(11-41)计算:

$$I_{imp} = \frac{0.5I}{nm} \tag{11-40}$$

$$I_{imp}=\frac{0.5IR_a}{n(mR_a+R_c)} \tag{11-41}$$

式中 I——雷电流，取 200kA；

n——地下和架空引入的外来金属管道和线路的总数；

m——每一线路内导体芯线的总根数；

R_a——屏蔽层每公里的电阻(Ω/km)；

R_c——芯线每公里的电阻(Ω/km)。

10. 电源总配电箱处所装设的电涌保护器，其连接的导体截面应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 5.1.2 的规定取值，其最大持续运行电压值和接线形式应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录 J 的规定确定。

注：当电涌保护器的接线形式为《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 J.1.2 中的接线形式 2 时，接在中性线和 PE 线间电涌保护器的冲击电流，当为三相系统时不应小于本条第 9 款规定值的 4 倍，当为单相系统时不应小于 2 倍。

11. 当电子系统的室外线路采用金属线时，在其引入的终端箱处应安装 D1 类高能量试验类型的电涌保护器，其短路电流当无屏蔽层时，宜按式 (11-40)计算，当有屏蔽层时宜按式(11-41)计算；当无法确定时应选用 2kA。选取电涌保护器的其他参数应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录 J.2 节的规定，连接电涌保护器的导体截面应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 5.1.2 的规定取值。

12. 当电子系统的室外线路采用光缆时，在其引入的终端箱处的电气线路侧，当无金属线路引出本建筑物至其他有自己接地装置的设备时，可安装 B2 类慢上升率试验类型的电涌保护器，其短路电流应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 J.2.1 的规定确定，宜选用 100A。

13. 输送火灾爆炸危险物质的埋地金属管道，当其从室外进入户内处设有绝缘段时，应在绝缘段处跨接符合下列要求的电压开关型电涌保护器或隔离放电间隙：

1)选用Ⅰ级试验的密封型电涌保护器。

2)电涌保护器能承受的冲击电流按式(11-40)计算，取 $m=1$。

3)电涌保护器的电压保护水平应小于绝缘段的耐冲击电压水平，无法确定时，应取其等于或大于 1.5kV 和等于或小于 2.5kV。

4)输送火灾爆炸危险物质的埋地金属管道在进入建筑物处的防雷等电位联结，应在绝缘段之后管道进入室内处进行，可将电涌保护器的上端头接到等电位联结带。

14. 具有阴极保护的埋地金属管道，在其从室外进入户内处宜设绝缘段，应在绝缘段处跨接符合下列要求的电压开关型电涌保护器或隔离放电间隙：

1)选用Ⅰ级试验的密封型电涌保护器。

2)电涌保护器能承受的冲击电流按式(11-40)计算，取 $m=1$。

3)电涌保护器的电压保护水平应小于绝缘段的耐冲击电压水平，并应大于阴极保护电源的最大端电压。

4)具有阴极保护的埋地金属管道在进入建筑物处的防雷等电位联结，应在绝缘段之后管道进入室内处进行，可将电涌保护器的上端头接到等电位联结带。

4.2.5 当树木邻近建筑物且不在接闪器保护范围之内时，树木与建筑物之间的净距不应小于 5m。

11.3.2.3 第二类防雷建筑物的防雷措施

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

规范引用



4.3.1 第二类防雷建筑物外部防雷的措施,宜采用装设在建筑物上的接闪网、接闪带或接闪杆,也可采用由接闪网、接闪带或接闪杆混合组成的接闪器。接闪网、接闪带应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录B的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设,并应在整个屋面组成不大于10m×10m或12m×8m的网格;当建筑物高度超过45m时,首先应沿屋顶周边敷设接闪带,接闪带应设在外墙外表面或屋檐边垂直面上,也可设在外墙外表面或屋檐边垂直面外。接闪器之间应互相连接。

4.3.2 突出屋面的放散管、风管、烟囱等物体,应按下列方式保护:

1. 排放爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等管道应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.2.1条第2款的规定。

2. 排放无爆炸危险气体、蒸气或粉尘的放散管、烟囱,1区、21区、2区和22区爆炸危险场所的自然通风管,0区和20区爆炸危险场所的装有阻火器的放散管、呼吸阀、排风管,以及《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.2.1条第3款所规定的管、阀及煤气和天然气放散管等,其防雷保护应符合下列规定:

1)金属物体可不装接闪器,但应和屋面防雷装置相连。

2)除符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.5.7条的规定情况外,在屋面接闪器保护范围之外的非金属物体应装接闪器,并应和屋面防雷装置相连。

4.3.3 专设引下线不应少于2根,并应沿建筑物四周和内庭院四周均匀对称布置,其间距沿周长计算不宜大于18m。当建筑物的跨度较大,无法在跨距中间设引下线时,应在跨距两端设引下线并减小其他引下线的间距,专设引下线的平均间距不应大于18m。

4.3.4 外部防雷装置的接地应和防闪电感应、内部防雷装置、电气和电子系统等接地共用接地装置,并应与引入的金属管线做等电位联结。外部防雷装置的专设接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体。

4.3.5 利用建筑物的钢筋作为防雷装置时应符合下列规定:

1. 建筑物宜利用钢筋混凝土屋顶、梁、柱、基础内的钢筋作为引下线。《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第3.0.3条第2～4款、第9款、第10款的建筑物,当其女儿墙以内的屋顶钢筋网以上的防水和混凝土层允许不保护时,宜利用屋顶钢筋网作为接闪器;《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第3.0.3条第2～4款、第9款、第10款的建筑物为多层建筑,且周围很少有人停留时,宜利用女儿墙压顶板内或檐口内的钢筋作为接闪器。

2. 当基础采用硅酸盐水泥和周围土壤的含水量不低于4%及基础的外表面无防腐层或有沥青质防腐层时,宜利用基础内的钢筋作为接地装置。当基础的外表面有其他类的防腐层且无桩基可利用时,宜在基础防腐层下面的混凝土垫层内敷设人工环形基础接地体。

3. 敷设在混凝土中作为防雷装置的钢筋或圆钢,当仅为一根时,其直径不应小于10mm。被利用作为防雷装置的混凝土构件内有箍筋连接的钢筋时,其截面积总和不应小于一根直径10mm钢筋的截面积。

4. 利用基础内钢筋网作为接地体时,在周围地面以下距地面不应小于0.5m,每根引下线所连接的钢筋表面积总和应按下式计算:

$$S \geqslant 4.24k_c^2 \tag{11-42}$$

式中 S——钢筋表面积总和(m^2)；

k_c——分流系数，按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录 E 的规定取值。

5. 当在建筑物周边的无钢筋的闭合条形混凝土基础内敷设人工基础接地体时，接地体的规格尺寸应按表 11-21 的规定确定。

表 11-21 第二类防雷建筑物环形人工基础接地体的最小规格尺寸

闭合条形基础的周长/m	扁钢/mm	圆钢，根数×直径/mm
≥60	4×25	2×ϕ10
40～60	4×50	4×ϕ10 或 3×ϕ12
<40	钢材表面积总和≥ 4.24m^2	

注：①当长度相等、截面相等时，宜选用扁钢；

②采用多根圆钢时，其敷设净距不小于直径的 2 倍；

③利用闭合条形基础内的钢筋作接地体时可按本表校验，除主筋外，可计入箍筋的表面积。

6. 构件内有箍筋连接的钢筋或成网状的钢筋，其箍筋与钢筋、钢筋与钢筋应采用土建施工的绑扎法、螺钉、对焊或搭焊连接。单根钢筋、圆钢或外引预埋连接板、线与构件内钢筋应焊接或采用螺栓紧固的卡夹器连接。构件之间必须连接成电气通路。

4.3.6 共用接地装置的接地电阻应按 50Hz 电气装置的接地电阻确定，不应大于按人身安全所确定的接地电阻值。在土壤电阻率小于或等于 3000Ω·m 的时，外部防雷装置的接地体应符合下列规定之一以及环形接地体所包围面积的等效圆半径等于或大于所规定的值时，可不计及冲击接地电阻；但当每根专设引下线的冲击接地电阻不大于 10Ω 时，可不按本条 1、2 款敷设接地体：

1. 当土壤电阻率 ρ 小于或等于 800Ω·m 时，对环形接地体所包围面积的等效圆半径小于 5m 的情况，每一引下线处应补加水平接地体或垂直接地体。当补加水平接地体时，其最小长度应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-1)计算；当补加垂直接地体时，其最小长度应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-2)计算。

2. 当土壤电阻率大于 800Ω·m、小于或等于 3000Ω·m 时，且对环形接地体所包围的面积的等效圆半径小于按下式的计算值时，每一引下线处应补加水平接地体或垂直接地体：

$$\sqrt{\frac{A}{\pi}} < \frac{\rho - 550}{50} \tag{11-43}$$

3. 本条第 2 款补加水平接地体时，其最小总长度应按下式计算：

$$l_r = \left(\frac{\rho - 550}{50}\right) - \sqrt{\frac{A}{\pi}} \tag{11-4}$$

4. 本条第 2 款补加垂直接地体时，其最小总长度应按下式计算：

$$l_v = \frac{\left(\frac{\rho - 550}{50}\right) - \sqrt{\frac{A}{\pi}}}{2} \tag{11-45}$$

5 在符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 4.3.5 条规定的条件下，利用槽形、板形或条形基础的钢筋作为接地体或在基础下面混凝土垫层内敷设人工环形基础接地体，当槽形、板形基础钢筋网在水平面的投影面积或成环的条形基础钢筋或人工环形基础接地体所包围的面积符合下列规定时，可不补加接地体：

1)当土壤电阻率小于或等于800Ω·m时,所包围的面积应大于或等于79m²;

2)当土壤电阻率大于800Ω·m且小于等于3000Ω·m时,所包围的面积应大于或等于按下式的计算值:

$$A \geqslant \pi\left(\frac{\rho-550}{50}\right)^2 \tag{11-46}$$

6. 在符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.5条规定的条件下,对6m柱距或大多数柱距为6m的单层工业建筑物,当利用柱子基础的钢筋作为外部防雷装置的接地体并同时符合下列规定时,可不另加接地体:

1)利用全部或绝大多数柱子基础的钢筋作为接地体。

2)柱子基础的钢筋网通过钢柱,钢屋架,钢筋混凝土柱子、屋架、屋面板、吊车梁等构件的钢筋或防雷装置互相连成整体。

3)在周围地面以下距地面不小于0.5m,每一柱子基础内所连接的钢筋表面积总和大于或等于0.82m²。

4.3.7 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第3.0.3条第5～7款所规定的建筑物,其防闪电感应的措施应符合下列规定:

1. 建筑物内的设备、管道、构架等主要金属物,应就近接到防雷装置或共用接地装置上。

2. 除《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第3.0.3条第7款所规定的建筑物外,平行敷设的管道、构架和电缆金属外皮等长金属物应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.2.2条第2款的规定,但长金属物连接处可不跨接。

3. 建筑物内防闪电感应的接地干线与接地装置的连接,不应少于两处。

4.3.8 防止雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位对附近金属物或电气和电子系统线路的反击,应符合下列规定:

1. 在金属框架的建筑物中,或在钢筋连接在一起、电气贯通的钢筋混凝土框架的建筑物中,金属物或线路与引下线之间的间隔距离可无要求;在其他情况下,金属物或线路与引下线之间的间隔距离应按下式计算:

$$S_{a3} \geqslant 0.06 k_c l_x \tag{11.47}$$

式中 S_{a3}——空气中的间隔距离(m);

l_x——引下线计算点到连接点的长度(m),连接点即金属物或电气和电子系统线路与防雷装置之间直接或通过电涌保护器相连之点。

2. 当金属物或线路与引下线之间有自然或人工接地的钢筋混凝土构件、金属板、金属网等静电屏蔽物隔开时,金属物或线路与引下线之间的间隔距离可无要求。

3. 当金属物或线路与引下线之间有混凝土墙、砖墙隔开时,其击穿强度应为空气击穿强度的1/2。当间隔距离不能满足本条第1款的规定时,金属物应与引下线直接相连,带电线路应通过电涌保护器与引下线相连。

4. 在电气接地装置与防雷接地装置共用或相连的情况下,应在低压电源线路引入的总配电箱、配电柜处装设Ⅰ级试验的电涌保护器。电涌保护器的电压保护水平值应小于或等于2.5kV。每一保护模式的冲击电流值,当无法确定时应取等于或大于12.5kA。

5. 当Yyn0型或Dyn11型接线的配电变压器设在本建筑物内或附设于外墙处时,应在变压器高压侧装设避雷器;在低压侧的配电屏上,当有线路引出本建筑物至其他有独自敷设

接地装置的配电装置时，应在母线上装设Ⅰ级试验的电涌保护器，电涌保护器每一保护模式的冲击电流值，当无法确定时冲击电流应取等于或大于12.5kA；当无线路引出本建筑物时，应在母线上装设Ⅱ级试验的电涌保护器，电涌保护器每一保护模式的标称放电电流值应等于或大于5kA。电涌保护器的电压保护水平值应小于或等于2.5kV。

6. 低压电源线路引入的总配电箱、配电柜处装设Ⅰ级实验的电涌保护器，以及配电变压器设在本建筑物内或附设于外墙处，并在低压侧配电屏的母线上装设Ⅰ级实验的电涌保护器时，电涌保护器每一保护模式的冲击电流值，当电源线路无屏蔽层时可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-6)计算，当有屏蔽层时可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-7)计算，式中的雷电流应取等于150kA。

7. 在电子系统的室外线路采用金属线时，其引入的终端箱处应安装D1类高能量试验类型的电涌保护器，其短路电流当无屏蔽层时，可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-6)计算，当有屏蔽层时可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-7)计算，式中的雷电流应取等于150kA；当无法确定时应选用1.5kA。

8. 在电子系统的室外线路采用光缆时，其引入的终端箱处的电气线路侧，当无金属线路引出本建筑物至其他有自己接地装置的设备时，可安装B2类慢上升率试验类型的电涌保护器，其短路电流宜选用75A。

9. 输送火灾爆炸危险物质和具有阴极保护的埋地金属管道，当其从室外进入户内处设有绝缘段时应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.2.4条第13款和第14款的规定，在按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-6)计算时，式中的雷电流应取等于150kA。

4.3.9 高度超过45m的建筑物，除屋顶的外部防雷装置应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.1条的规定外，还应符合下列规定：

1. 对水平突出外墙的物体，当滚球半径45m球体从屋顶周边接闪带外向地面垂直下降接触到突出外墙的物体时，应采取相应的防雷措施。

2. 高于60m的建筑物，其上部占高度20%并超过60m的部位应防侧击，防侧击应符合下列规定：

1)在建筑物上部占高度20%并超过60m的部位，各表面上的尖物、墙角、边缘、设备以及显著突出的物体，应按屋顶上的保护措施处理。

2)在建筑物上部占高度20%并超过60m的部位，布置接闪器应符合对本类防雷建筑物的要求，接闪器应重点布置在墙角、边缘和显著突出的物体上。

3)外部金属物，当其最小尺寸符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第5.2.7条第2款的规定时，可利用其作为接闪器，还可利用布置在建筑物垂直边缘处的外部引下线作为接闪器。

4)符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.5条规定的钢筋混凝土内钢筋和符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第5.3.5条规定的建筑物金属框架，当作为引下线或与引下线连接时，均可利用其作为接闪器。

3. 外墙内、外竖直敷设的金属管道及金属物的顶端和底端，应与防雷装置等电位联结。

4.3.10 有爆炸危险的露天钢质封闭气罐，当其高度小于或等于60m、罐顶壁厚不小于4mm时，或当其高度大于60m、罐顶壁厚和侧壁壁厚均不小于4mm时，可不装设接闪器，但应接地，且接地点不应少于两处，两接地点间距离不宜大于30m，每处接地点的冲击接地电

阻不应大于30Ω。当防雷的接地装置符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.6条的规定时,可不计及其接地电阻值,但《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.6条所规定的10Ω可改为30Ω。放散管和呼吸阀的保护应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.2条的规定。

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

11.3.1 第二类防雷建筑物应采取防直击雷、防侧击和防雷电波侵入的措施。

11.3.2 防直击雷的措施应符合下列规定:

1. 接闪器宜采用避雷带(网)、避雷针或由其混合组成。避雷带应装设在建筑物易受雷击的屋角、屋脊、女儿墙及屋檐等部位,并应在整个屋面上装设不大于10m×10m或12m×8m的网格。

2. 所有避雷针应采用避雷带或等效的环形导体相互连接。

3. 引出屋面的金属物体可不装接闪器,但应和屋面防雷装置相连。

4. 在屋面接闪器保护范围之外的非金属物体应装设接闪器,并应和屋面防雷装置相连。

5. 当利用金属物体或金属屋面作为接闪器时,应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第11.6.4条的要求。

6. 防直击雷的引下线应优先利用建筑物钢筋混凝土中的钢筋或钢结构柱。当利用建筑物钢筋混凝土中的钢筋作为引下线时,应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第11.7.7条的要求。

7. 防直击雷装置的引下线的数量和间距应符合下列规定。

1)专设引下线时,其根数不应少于两根,间距不应大于18m,每根引下线的冲击接地电阻不应大于10Ω;

2)当利用建筑物钢筋混凝土中的钢筋或钢结构柱作为防雷装置的引下线时,其根数可不限,间距不应大于18m,但建筑外廓易受雷击的各个角上的柱子的钢筋或钢柱应被利用,每根引下线的冲击接地电阻可不作规定。

8. 防直击雷的接地网应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第11.8节的规定。

11.3.3 当建筑物高度超过45m时,应采取下列防侧击措施:

1. 建筑物内钢构架和钢筋混凝土的钢筋应相互连接。

2. 应利用钢柱或钢筋混凝土柱子内的钢筋作为防雷装置引下线。结构圈梁中的钢筋应每三层连成闭合回路,并应同防雷装置引下线连接。

3. 应将45m及以上外墙上的栏杆、门窗等较大金属物直接或通过预埋件与防雷装置相连。

4. 垂直敷设的金属管道及类似金属物除应满足《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第11.3.6条的规定外,还应在顶端和底端与防雷装置连接。

11.3.4 防雷电波侵入的措施应符合下列规定:

1. 为防止雷电波的侵入,进入建筑物的各种线路及金属管道宜采用全线埋地引入,并应在入户端将电缆的金属外皮、钢导管及金属管道与接地网连接。当采用全线埋地电缆确

有困难而无法实现时，可采用一段长度不小于 $2\sqrt{\rho}$(m)的铠装电缆或穿钢导管的全塑电缆直接埋地引入，电缆埋地长度不应小于 15m，其入户端电缆的金属外皮或钢导管应与接地网连通。

注：ρ 为埋地电缆处的土壤电阻率(Ω·m)。

2. 在电缆与架空线连接处，还应装设避雷器，并应与电缆的金属外皮或钢导管及绝缘子铁脚、金具连在一起接地，其冲击接地电阻不应大于 10Ω。

3. 年平均雷暴日在 30d/a 及以下地区的建筑物，可采用低压架空线直接引入建筑物，并应符合下列要求：

1)入户端应装设避雷器，并应与绝缘子铁脚、金具连在一起接到防雷接地网上，冲击接地电阻不应大于 5Ω；

2)入户端的三基电杆绝缘子铁脚、金具应接地，靠近建筑物的电杆的冲击接地电阻不应大于 10Ω，其余两基电杆不应大于 20Ω。

4. 进出建筑物的架空和直接埋地的各种金属管道应在进出建筑物处与防雷接地网连接。

5. 当低压电源采用全长电缆或架空线换电缆引入时，应在电源引入处的总配电箱装设浪涌保护器。

6. 设在建筑物内、外的配电变压器，宜在高、低压侧的各相装设避雷器。

11.3.5 防止雷电流流经引下线和接地网时产生的高电位对附近金属物体、电气线路、电气设备和电子信息设备的反击的措施应符合下列规定：

1. 有条件时，宜将防雷装置的接闪器和引下线与建筑物内的金属物体隔开。金属物体至引下线的距离应符合公式(11-48)至(11-50)的要求，地下各种金属管道及其他各种接地网距防雷接地网的距离应符合公式(11-51)的要求，且不应小于 2m，达不到时应相互连接。

当 $L_x \geqslant 5R_i$ 时

$$S_{a1} \geqslant 0.075K_c(R_i + L_x) \tag{11-48}$$

当 $L_x < 5R_i$ 时

$$S_{a1} \geqslant 0.3K_c(R_i + 0.1L_x) \tag{11-49}$$

$$S_{a2} \geqslant 0.075K_cL_x \tag{11-50}$$

$$S_{ed} \geqslant 0.3K_cR_i \tag{11-51}$$

式中 S_{a1}——当金属管道的埋地部分未与防雷接地装置连接时，引下线与金属物体之间的空气中距离(m)；

S_{a2}——当金属管道的埋地部分已与防雷接地装置连接时，引下线与金属物体之间的空气中距离(m)；

R_i——防雷接地装置的冲击接地电阻(Ω)；

L_x——引下线计算点到地面长度(m)；

S_{ed}——防雷接地装置与各种接地装置或埋地各种电缆和金属管道间的地下距离(m)；

K_c——分流系数，单根引下线应为 1，两根引下线及接闪器不成闭合环的多根引下线应为 0.66，接闪器成闭合环或网状的多根引下线应为 0.44。

2. 当利用建筑物的钢筋体或钢结构作为引下线，同时建筑物的大部分钢筋、钢结构等金属物与被利用的部分连成整体时，其距离可不受限制。

3. 当引下线与金属物或线路之间有自然接地或人工接地的钢筋混凝土构件、金属板、金属网等静电屏蔽物隔开时,其距离可不受限制。

4. 当引下线与金属物或线路之间有混凝土墙、砖墙隔开时,混凝土墙的击穿强度应与空气击穿强度相同,砖墙的击穿强度应为空气击穿强度的二分之一。当引下线与金属物或线路之间距离不能满足上述要求时,金属物或线路应与引下线直接相连或通过过电压保护器相连。

5. 对于设有大量电子信息设备的建筑物,其电气、电信竖井内的接地干线应与每层楼板钢筋作等电位联结。一般建筑物的电气、电信竖井内的接地干线应每三层与楼板钢筋作等电位联结。

11.3.6 当整个建筑物全部为钢筋混凝土结构或为砖混结构但有钢筋混凝土组合柱和圈梁时,应利用钢筋混凝土结构内的钢筋设置局部等电位联结端子板,并应将建筑物内的各种竖向金属管道每三层与局部等电位联结端子板连接一次。

11.3.7 当防雷接地网符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.8.8 条的要求时,应优先利用建筑物钢筋混凝土基础内的钢筋作为接地网。当为专设接地网时,接地网应围绕建筑物敷设成一个闭合环路,其冲击接地电阻不应大于 10Ω。

11.3.2.4 第三类防雷建筑物的防雷措施

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

4.4.1 第三类防雷建筑物外部防雷的措施宜采用装设在建筑物上的接闪网、接闪带或接闪杆,也可采用由接闪网、接闪带和接闪杆混合组成的接闪器。接闪网、接闪带应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录 B 的规定沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击的部位敷设,并应在整个屋面组成不大于 20m×20m 或 24m×16m 的网格;当建筑物高度超过 60m 时,首先应沿屋顶周边敷设接闪带,接闪带应设在外墙外表面或屋檐边垂直面上,也可设在外墙外表面或屋檐边垂直面外。接闪器之间应互相连接。

4.4.2 突出屋面的物体的保护措施应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 4.3.2 条的规定。

4.4.3 专设引下线不应少于两根,并应沿建筑物四周和内庭院四周均匀对称布置,其间距沿周长计算不宜大于 25m。当建筑物的跨度较大,无法在跨距中间设引下线时,应在跨距两端设引下线并减小其他引下线的间距,专设引下线的平均间距不应大于 25m。

4.4.4 防雷装置的接地应与电气和电子系统等接地共用接地装置,并应与引入的金属管线做等电位联结。外部防雷装置的专设接地装置宜围绕建筑物敷设成环形接地体。

4.4.5 建筑物宜利用钢筋混凝土屋面、梁、柱、基础内的钢筋作为引下线和接地装置,当其女儿墙以内的屋顶钢筋网以上的防水和混凝土层允许不保护时,宜利用屋顶钢筋网作为接闪器,以及当建筑物为多层建筑,其女儿墙压顶板内或檐口内有钢筋且周围除保安人员巡逻外通常无人停留时,宜利用女儿墙压顶板内或檐口内的钢筋作为接闪器,并应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 4.3.5 条第 2 款、第 3 款、第 6 款的规定,同时应符合下列规定:

1. 利用基础内钢筋网作为接地体时,在周围地面以下距地面不小于 0.5m 深,每根引下线所连接的钢筋表面积总和应按下式计算:

$$S \geqslant 1.89k_c^2 \tag{11-52}$$

2. 当在建筑物周边的无钢筋的闭合条形混凝土基础内敷设人工基础接地体时，接地体的规格尺寸应按表 11-22 的规定确定。

表 11-22 第三类防雷建筑物环形人工基础接地体的最小规格尺寸

闭合条形基础的周长 /m	扁钢/mm	圆钢，根数×直径 /mm
≥60	—	1×ϕ10
40～60	4×20	2×ϕ8
<40	钢材表面积总和≥1.89m^2	

注：①当长度相等、截面相等时，宜选用扁钢；

②采用多根圆钢时，其敷设净距不小于直径的 2 倍；

③利用闭合条形基础内的钢筋作接地体时可按本表校验，除主筋外，可计入箍筋的表面积。

4.4.6 共用接地装置的接地电阻应按 50Hz 电气装置的接地电阻确定，不应大于按人身安全所确定的接地电阻值。在土壤电阻率小于或等于 3000Ω·m 时，外部防雷装置的接地体当符合下列规定之一以及环形接地体所包围面积的等效圆半径等于或大于所规定的值时可不计及冲击接地电阻；当每根专设引下线的冲击接地电阻不大于 30Ω，但对《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)3.0.4 条第 2 款所规定的建筑物则不大于 10Ω 时，可不按本条 1 款敷设接地体：

1. 对环形接地体所包围面积的等效圆半径小于 5m 时，每一引下线处应补加水平接地体或垂直接地体。当补加水平接地体时，其最小长度应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-1)计算；当补加垂直接地体时，其最小长度应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-2)计算。

2. 在符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 4.4.5 条规定的条件下，利用槽形、板形或条形基础的钢筋作为接地体或在基础下面混凝土垫层内敷设人工环形基础接地体，当槽形、板形基础钢筋网在水平面的投影面积或成环的条形基础钢筋或人工环形基础接地体所包围的面积大于或等于 79m^2 时，可不补加接地体。

3. 在符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 4.4.5 条规定的条件下，对 6m 柱距或大多数柱距为 6m 的单层工业建筑物，当利用柱子基础的钢筋作为外部防雷装置的接地体并同时符合下列规定时，可不另加接地体：

1)利用全部或绝大多数柱子基础的钢筋作为接地体；

2)柱子基础的钢筋网通过钢柱，钢屋架，钢筋混凝土柱子、屋架、屋面板、吊车梁等构件的钢筋或防雷装置互相连成整体；

3)在周围地面以下距地面不小于 0.5m 深，每一柱子基础内所连接的钢筋表面积总和大于或等于 0.37m^2。

4.4.7 防止雷电流流经引下线和接地装置时产生的高电位对附近金属物或电气和电子系统线路的反击，应符合下列规定：

1. 应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 4.3.8 条第 1～5 款的规定，并应按下式计算：

$$S_{a3} \geqslant 0.04k_c l_x \tag{11-53}$$

2. 低压电源线路引入的总配电箱、配电柜处装设Ⅰ级实验的电涌保护器，以及配电变压器设在本建筑物内或附设于外墙处，并在低压侧配电屏的母线上装设Ⅰ级实验的电涌保护

器时,电涌保护器每一保护模式的冲击电流值,当电源线路无屏蔽层时可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-6)计算,当有屏蔽层时可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-7)计算,式中的雷电流应取等于100kA。

3. 在电子系统的室外线路采用金属线时,在其引入的终端箱处应安装D1类高能量试验类型的电涌保护器,其短路电流当无屏蔽层时,可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-6)计算,当有屏蔽层时可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-7)计算,式中的雷电流应取100kA;当无法确定时应选用1.0kA。

4. 在电子系统的室外线路采用光缆时,其引入的终端箱处的电气线路侧,当无金属线路引出本建筑物至其他有自己接地装置的设备时,可安装B2类慢上升率试验类型的电涌保护器,其短路电流宜选用50A。

5. 输送火灾爆炸危险物质和具有阴极保护的埋地金属管道,当其从室外进入户内处设有绝缘段时,应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.2.4条第13款和第14款的规定,当按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)式(4.2.4-6)计算时,雷电流应取100kA。

4.4.8 高度超过60m的建筑物,除屋顶的外部防雷装置应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.4.1条的规定外,还应符合下列规定:

1. 对水平突出外墙的物体,当滚球半径60m球体从屋顶周边接闪带外向地面垂直下降接触到突出外墙的物体时,应采取相应的防雷措施。

2. 高于60m的建筑物,其上部占高度20%并超过60m的部位应防侧击,防侧击应符合下列规定:

1)在建筑物上部占高度20%并超过60m的部位,各表面上的尖物、墙角、边缘、设备以及显著突出的物体,应按屋顶的保护措施考虑。

2)在建筑物上部占高度20%并超过60m的部位,布置接闪器应符合对本类防雷建筑物的要求,接闪器应重点布置在墙角、边缘和显著突出的物体上。

3)外部金属物,当其最小尺寸符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第5.2.7条第2款的规定时,可利用其作为接闪器,还可利用布置在建筑物垂直边缘处的外部引下线作为接闪器。

4)符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.4.5条规定的钢筋混凝土内钢筋和符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第5.3.5条规定的建筑物金属框架,当其作为引下线或与引下线连接时均可利用作为接闪器。

3. 外墙内、外竖直敷设的金属管道及金属物的顶端和底端,应与防雷装置作等电位联结。

4.4.9 砖烟囱、钢筋混凝土烟囱,宜在烟囱上装设接闪杆或接闪环保护。多支接闪杆应连接在闭合环上。

当非金属烟囱无法采用单支或双支接闪杆保护时,应在烟囱口装设环形接闪带,并应对称布置三支高出烟囱口不低于0.5m的接闪杆。

钢筋混凝土烟囱的钢筋应在其顶部和底部与引下线和贯通连接的金属爬梯相连。当符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.4.5条的规定时,宜利用钢筋作为引下线和接地装置,可不另设专用引下线。

高度不超过40m的烟囱,可只设一根引下线,超过40m时应设两根引下线。可利用螺

栓或焊接连接的一座金属爬梯作为两根引下线用。

金属烟囱应作为接闪器和引下线。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)





11.4.1 第三类防雷建筑物应采取防直击雷、防侧击和防雷电波侵入的措施。

11.4.2 防直击雷的措施应符合下列规定：

1. 接闪器宜采用避雷带(网)、避雷针或由其混合组成，所有避雷针应采用避雷带或等效的环形导体相互连接。

2. 避雷带应装设在屋角、屋脊、女儿墙及屋檐等建筑物易受雷击部位，并应在整个屋面上装设不大于 20m×20m 或 24m×16m 的网格。

3. 对于平屋面的建筑物，当其宽度不大于 20m 时，可仅沿周边敷设一圈避雷带。

4. 引出屋面的金属物体可不装接闪器，但应和屋面防雷装置相连。

5. 在屋面接闪器保护范围以外的非金属物体应装设接闪器，并应和屋面防雷装置相连。

6. 当利用金属物体或金属屋面作为接闪器时，应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.6.4 条的要求。

7. 防直击雷装置的引下线应优先利用钢筋混凝土中的钢筋，但应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.7.7 条的要求。

8. 防直击雷装置的引下线的数量和间距应符合下列规定：

1)为防雷装置专设引下线时，其引下线数量不应少于两根，间距不应大于 25m，每根引下线的冲击接地电阻不宜大于 30Ω；对第 11.2.4 条第 4 款所规定的建筑物则不宜大于 10Ω；

2)当利用建筑物钢筋混凝土中的钢筋作为防雷装置引下线时，其引下线数量可不受限制，间距不应大于 25m，建筑物外廓易受雷击的几个角上的柱筋宜被利用。每根引下线的冲击接地电阻值可不作规定。

9. 构筑物的防直击雷装置引下线可为一根，当其高度超过 40m 时，应在相对称的位置上装设两根。当符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.7.7 条的要求时，钢筋混凝土结构的构筑物中的钢筋可作为引下线。

10. 防直击雷装置的接地网宜和电气设备等接地网共用。进出建筑物的各种金属管道及电气设备的接地网，应在进出处与防雷接地网相连。

在共用接地网并与埋地金属管道相连的情况下，接地网宜围绕建筑物敷设成环形。当符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.8.8 条的要求时，应利用基础和地梁作为环形接地网。

11.4.3 当建筑物高度超过 60m 时，应采取下列防侧击措施：

1. 建筑物内钢构架和钢筋混凝土中的钢筋及金属管道等的连接措施应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.3.3 条的规定；

2. 应将 60m 及以上外墙上的栏杆、门窗等较大的金属物直接或通过预埋件与防雷装置相连。

11.4.4 防雷电波侵入的措施应符合下列规定：

1. 对电缆进出线，应在进出端将电缆的金属外皮、金属导管等与电气设备接地相连。

架空线转换为电缆时,电缆长度不宜小于15m,并应在转换处装设避雷器。避雷器、电缆金属外皮和绝缘子铁脚、金具应连在一起接地,其冲击接地电阻不宜大于30Ω。

2. 对低压架空进出线,应在进出处装设避雷器,并应与绝缘子铁脚、金具连在一起接到电气设备的接地网上。当有多回路进出线时,可仅在母线或总配电箱处装设避雷器或其他形式的浪涌保护器,但绝缘子铁脚、金具仍应接到接地网上。

3. 进出建筑物的架空金属管道,在进出处应就近接到防雷或电气设备的接地网上或独自接地,其冲击接地电阻不宜大于30Ω。

11.4.5 防止雷电流流经引下线和接地网时产生的高电位对附近金属物体、电气线路、电气设备和电子信息设备的反击的措施,应符合下列要求:

1. 有条件时,宜将防雷装置的接闪器和引下线与建筑物内的金属物体隔开。金属物体至引下线的距离应符合公式(11-54)或(11-55)的要求。地下各种金属管道及其他各种接地网距防雷接地网的距离应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)公式(11.3.5-4)的要求,但不应小于2m。当达不到时,应相互连接。

当 $L_x \geqslant 5R_i$ 时

$$S_{al} \geqslant 0.05K_c(R_i + L_x) \tag{11-54}$$

当 $L_x < 5R_i$ 时

$$S_{al} \geqslant 0.2K_c(R_i + 0.1L_x) \tag{11-55}$$

式中 S_{al}——当金属管道的埋地部分未与防雷接地装置连接时,引下线与金属物体之间的空气中距离(m);

R_i——防雷接地装置的冲击接地电阻(Ω);

K_c——分流系数,见第11.3.5条1款公式之注释;

L_x——引下线计算点到地面长度(m)。

2. 在共用接地网并与埋地金属管道相连的情况下,其引下线与金属物之间的空气中距离应符合公式(11.3.5-3)的要求。

3. 当利用建筑物的钢筋体或钢结构作为引下线,同时建筑物的钢筋、钢结构等金属物与被利用的部分连成整体时,其距离可不受限制。

4. 当引下线与金属物或线路之间有自然地或人工地的钢筋混凝土构件、金属板、金属网等静电屏蔽物隔开时,其距离可不受限制。

5. 电气、电信竖井内的接地干线与楼板钢筋的等电位联结应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第11.3.5条的规定。

11.3.2.5 其他防雷措施

规范引用 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

4.5.1 当一座防雷建筑物中兼有第一、二、三类防雷建筑物时,其防雷分类和防雷措施宜符合下列规定:

1. 当第一类防雷建筑物部分的面积占建筑物总面积的30%及以上时,该建筑物宜确定为第一类防雷建筑物。

2. 当第一类防雷建筑物部分的面积占建筑物总面积的30%以下,且第二类防雷建筑物部分的面积占建筑物总面积的30%及以上时,或当这两部分防雷建筑物的面积均小于建筑

物总面积的30%,但其面积之和又大于30%时,该建筑物宜确定为第二类防雷建筑物。但对第一类防雷建筑物部分的防闪电感应和防闪电电涌侵入,应采取第一类防雷建筑物的保护措施。

3. 当第一、二类防雷建筑物部分的面积之和小于建筑物总面积的30%,且不可能遭直接雷击时,该建筑物可确定为第三类防雷建筑物;但对第一、二类防雷建筑物部分的防闪电感应和防闪电电涌侵入,应采取各自类别的保护措施;当可能遭直接雷击时,宜按各自类别采取防雷措施。

4.5.2 当一座建筑物中仅有一部分为第一、二、三类防雷建筑物时,其防雷措施宜符合下列规定:

1. 当防雷建筑物部分可能遭直接雷击时,宜按各自类别采取防雷措施。

2. 当防雷建筑物部分不可能遭直接雷击时,可不采取防直击雷措施,可仅按各自类别采取防闪电感应和防闪电电涌侵入的措施。

3. 当防雷建筑物部分的面积占建筑物总面积的50%以上时,该建筑物宜按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.5.1条的规定采取防雷措施。

4.5.3 当采用接闪器保护建筑物、封闭气罐时,其外表面外的2区爆炸危险场所可不在滚球法确定的保护范围内。

4.5.4 固定在建筑物上的节日彩灯、航空障碍信号灯及其他用电设备和线路应根据建筑物的防雷类别采取相应的防止闪电电涌侵入的措施,并应符合下列规定:

1. 无金属外壳或保护网罩的用电设备应处在接闪器的保护范围内。

2. 从配电箱引出的配电线路应穿钢管。钢管的一端应与配电箱和PE线相连;另一端应与用电设备外壳、保护罩相连,并应就近与屋顶防雷装置相连。当钢管因连接设备而中间断开时应设跨接线。

3. 在配电箱内应在开关的电源侧装设Ⅱ级试验的电涌保护器,其电压保护水平不应大于2.5kV,标称放电电流值应根据具体情况确定。

4.5.5 粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场,当其年预计雷击次数大于或等于0.05时,应采用独立接闪杆或架空接闪线防直击雷。独立接闪杆和架空接闪线保护范围的滚球半径可取100m。

在计算雷击次数时,建筑物的高度可按可能堆放的高度计算,其长度和宽度可按可能堆放面积的长度和宽度计算。

4.5.6 在建筑物引下线附近保护人身安全需采取的防接触电压和跨步电压的措施,应符合下列规定:

1. 防接触电压应符合下列规定之一:

1)利用建筑物金属构架和建筑物互相连接的钢筋在电气上是贯通且不少于10根柱子组成的自然引下线,作为自然引下线的柱子包括位于建筑物四周和建筑物内的。

2)引下线3m范围内地表层的电阻率不小于50kΩ·m,或敷设5cm厚沥青层或15cm厚砾石层。

3)外露引下线,其距地面2.7m以下的导体用耐1.2/50μs冲击电压100kV的绝缘层隔离,或用至少3mm厚的交联聚乙烯层隔离。

4)用护栏、警告牌使接触引下线的可能性降至最低限度。

2. 防跨步电压应符合下列规定之一:

1)利用建筑物金属构架和建筑物互相连接的钢筋在电气上是贯通且不少于10根柱子组成的自然引下线,作为自然引下线的柱子包括位于建筑物四周和建筑物内的。

2)引下线3m范围内土壤地表层的电阻率不小于50kΩ·m。或敷设5cm厚沥青层或15cm厚砾石层。

3)用网状接地装置对地面作均衡电位处理。

4)用护栏、警告牌使进入距引下线3m范围内地面的可能性减小到最低限度。

4.5.7 对第二类和第三类防雷建筑物,应符合下列规定:

1. 没有得到接闪器保护的屋顶孤立金属物的尺寸不超过以下数值时,可不要求附加的保护措施:

1)高出屋顶平面不超过0.3m。

2)上层表面总面积不超过1.0m^2。

3)上层表面的长度不超过2.0m。

2. 不处在接闪器保护范围内的非导电性屋顶物体,当它没有突出由接闪器形成的平面0.5m以上时,可不要求附加增设接闪器的保护措施。

4.5.8 在独立接闪杆、架空接闪线、架空接闪网的支柱上,严禁悬挂电话线、广播线、电视接收天线及低压架空线等。

11.3.2.6 特殊建、构筑物的防雷

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

一、有爆炸危险的露天封闭钢罐的防雷

露天装设有爆炸危险的封闭钢罐和工艺装置(石油、化工类钢罐除外),当其壁厚不小于4mm时,一般可不装接闪器,但应接地(对湿式氢气储罐钟罩顶应有可靠接地),且接地点不应少于两处,两接地点间距离不宜大于30m;当采用接闪器保护时,其外表面的2区爆炸危险环境可不在保护范围内。对浮顶金属罐应用两根截面积不小于25mm^2的软铜绞线将浮顶与罐体进行良好的电气连接。冲击接地电阻不应大于30Ω(氢气储罐冲击接地电阻不大于10Ω);当其接地装置符合表13-9防直击雷第(5)项要求时,也可不计及接地电阻值。其放散管和呼吸阀的保护应符合表13-9防直击雷措施(2)项的要求。引出、引入罐体的金属管道应在法兰等接头处做好电气连接。

二、户外架空管道的防雷

(1)户外架空金属管道应设防雷电波侵入建筑物的接地(参见表13-8～表13-10的相关要求),其中输送易燃易爆气体或液体的管道在进出建筑物处,不同爆炸危险环境的边界、管道分支处及直线段管道50～80m处应设防静电接地,每处接地电阻不大于30Ω(氧气和乙炔气体管道接地电阻为10Ω)。

(2)户外架空氢气管道除符合上述(1)款要求外,还应每隔20～25m设防雷电感应接地,每处接地电阻不大于10Ω。

(3)上述管道架空平行敷设,当两管间净距小于100mm时,每隔20～30m应用金属线跨接,净距小于100mm的交叉管道也应用金属线跨接。

(4)输送易燃易爆气体或液体管道的连接处(如阀门、法兰盘等)应用金属线跨接,跨接线可采用直径不小于8mm的圆钢。

(5)防雷电感应接地和防静电接地宜共用接地装置,接地电阻应符合两种接地中较小值的要求,并可与防雷及电气设备接地装置相连通。

三、水塔的防雷

水塔按第三类构筑物设计防雷。利用水塔顶上周围铁栅栏作为接闪器,或装设环形避雷带保护水塔边缘,并在塔顶中心装一根避雷针,其高度根据它与塔顶边缘接闪器得出的保护范围能保护到塔顶各物体确定之。冲击接地电阻不大于30Ω,引下线一般不少于两根,间距不大于30m。若水塔周长和高度均不超过40m可只设一根引下线,另一根可利用铁爬梯作引下线。钢筋混凝土结构的水塔,可利用结构钢筋作引下线,基础钢筋作接地体,专门敷设的接地体宜敷设成环形。

四、烟囱的防雷

烟囱属于第三类防雷构筑物。砖烟囱、钢筋混凝土烟囱,一般采用装设在烟囱上的避雷针或避雷环保护,多根避雷针应连接在闭合环上。

钢筋混凝土烟囱的钢筋应在其顶部和底部与引下线和贯通连接的金属爬梯相连。钢筋混凝土烟囱宜利用钢筋作为引下线和接地装置,可不另设专用引下线。

高度不超过40m的烟囱,可只设一根引下线,超过40m烟囱应设两根引下线,螺栓连接或焊接连接的金属爬梯也可作为两根引下线用。而对于金属烟囱,烟囱金属体应兼作接闪器和引下线。

五、微波站、电视差转台的防雷

1. 天线防雷

天线应在避雷针保护范围内,避雷针可固定在天线铁塔上,并采用40mm×4mm镀锌扁钢作为引下线,塔身金属结构也可兼作接闪器和引下线。当天线塔位于机房旁边时,应在塔基四脚外敷设铁塔地网。

天线馈线波导管或同轴传输线的金属外皮及敷线金属管应在塔的上下两端,以及超过60m时还应在其中间部位与塔身金属结构可靠连接,并在机房入口处的外侧与地网连通,同轴电缆在机房入口处应安装标称放电电流不小于5kA的同轴电涌保护器(SPD,其选择要求参见本章第七节);经走线架上塔的天线馈线,应在其转弯处上方0.5～1m范围内良好接地。室外走线架亦应在始末两端做接地连接。塔上的天线安装框架、支持杆、灯具外壳等金属件应与塔身金属结构用螺栓可靠连接或焊接连通。塔顶航空障碍灯及塔上的照明灯电源线应采用带金属外皮的电缆或将导线穿金属管,电缆金属外皮或金属管道至少应在上下两端与塔身相连,并水平埋地10m以上才允许进入机房或变配电房配电装置;在入口处还应加装氧化锌无间隙避雷器(或在机房配电箱内加装标称放电电源不小于20kA的电涌保护器)。

2. 机房防雷

机房屋顶应设避雷网以防直击雷及感应雷,其网格尺寸不大于3m×3m,且与屋顶四周敷设的闭合环形避雷带一一焊接连通。机房四角应设雷电流引下线,引下线可利用机房建筑结构柱内的两根以上主钢筋,并应与钢筋混凝土屋面板、梁及基础(包括桩基)内的钢筋相互连通。当天线塔直接位于机房屋顶上时,其四脚应在屋顶与雷电流引下线分别就近连通。机房外应围绕机房敷设闭合环形水平接地体并在四角与机房地网连通。

在机房及电力室内应在墙面、地槽或走线架上敷设环形或排形接地汇集线(或称接地母线)。机房和电力室接地汇集线之间应采用截面积不小于40mm×4mm镀锌扁钢连接线相

互妥善连通,并对称地各引出两根接地引入线与机房地网就近焊接连通。

进出机房的电力线、通信线及其他缆线应采用具有金属外护套的电缆或穿金属管,并埋地敷设;微波站站区严禁布设架空缆线。电缆在进站房处应将金属护套或穿线钢管接地,电缆芯线应加装电涌保护器;电缆内的空线对应接地。

从机房顶进入机房的缆线和太阳能电池馈电线,应采用具有金属护层的电缆或穿金属管,其金属护层或金属管在入户处应就近与屋顶避雷带焊接连通,其电缆芯线应加装电涌保护器。机房屋顶上的其他金属设施亦应分别就近与避雷带焊接连通。

3. 电源系统防雷

微波站供电电源线宜采用具有金属铠装外护层的电力电缆或其他护套电缆穿钢管埋地引入。微波站的电力变压器不宜设于微波机房建筑物内。若其安装于机房内时,高压电力电缆应采用铠装电缆且长度不宜小于 200m,电缆铠装层应在两端做接地,并在与架空线的连接处加装标称放电电流不小于 20kA 的交流无间隙氧化锌避雷器。电缆端部金属外皮与避雷器的接地端一起接地,其接地电阻不应大于 10Ω。如当地年雷暴日数超过 20d,且电缆敷设于土壤电阻率大于 100Ω·m 的地段时,应在电缆上方 30cm 左右埋设防雷线,防雷线宜采用截面积不小于 50mm^2的镀锌圆钢,且不应与电缆接地线连通。

直接引入微波站的低压电力电缆宜全程埋地引入,且埋地长度不应小于 15m,其相线及中性线在进入交流配电屏之前应分别对地加装氧化锌无间隙避雷器,屏内交流中性母线不做重复接地。低压电缆的入户端应将电缆金属外皮或穿线钢管与防雷接地装置相连,在电缆与架空线的连接处还应装设避雷器,并将电缆金属外皮或穿线钢管与绝缘子铁脚、金具等连在一起接地,其接地电阻不应大于 10Ω。

当微波站变配电房单独设置于机房外时,其高压进线可采用架空线路,但在其进站前 300～500m 长度内宜设架空避雷线。避雷线的保护角应不大于 25°,除终端杆外,避雷线宜每杆做一次接地,并宜在避雷线终端杆的前一杆上增装一组氧化锌避雷器。若已建站的架空高压电力线路防雷改造采用避雷线有困难,可在架空线路终端杆、终端杆前第一、第三或第二、第四杆上各增设一组避雷器,同时在第三杆或第四杆上增设一组高压熔断器。架空避雷线及避雷器的接地电阻值,其进站端应不大于 10Ω,中间和另一端应不大于 30Ω;接地体宜为辐射形或环形。

电力变压器的高、低压侧各相线均应对地装设过电压保护器,其低压侧系统的接地型式应采用 TN-S 系统;变压器金属外壳、低压侧中性点以及与变压器相连的电力电缆金属护套均应就近接地。

站内交、直流配电设备及电源自动切换装置等应满足相关标准、规范中关于耐雷电冲击指标的规定,并应具有分级防雷保护装置,即在稳压设备输入端、自动稳压稳流的控制电路以及交流屏的输入、输出端等处应分级设置电涌保护器(SPD),在直流屏的输出端或通信设备的入口处负极对地亦应设置直流系统用电涌保护器。

4. 电视差转台及电视发射台天线、机房及电源系统的防雷

上述设备及电源系统原则上可参照上述微波站的防雷接地措施办理。微波站防雷接地示意图见图 11-26。

六、卫星通信地球站的防雷

卫星通信地球站天线的防雷,可用独立避雷针或在天线口面上沿及副面调整器顶端预留的安装避雷针处分别安装避雷针。当天线安装于地面上时,其引下线直接引至天线基础

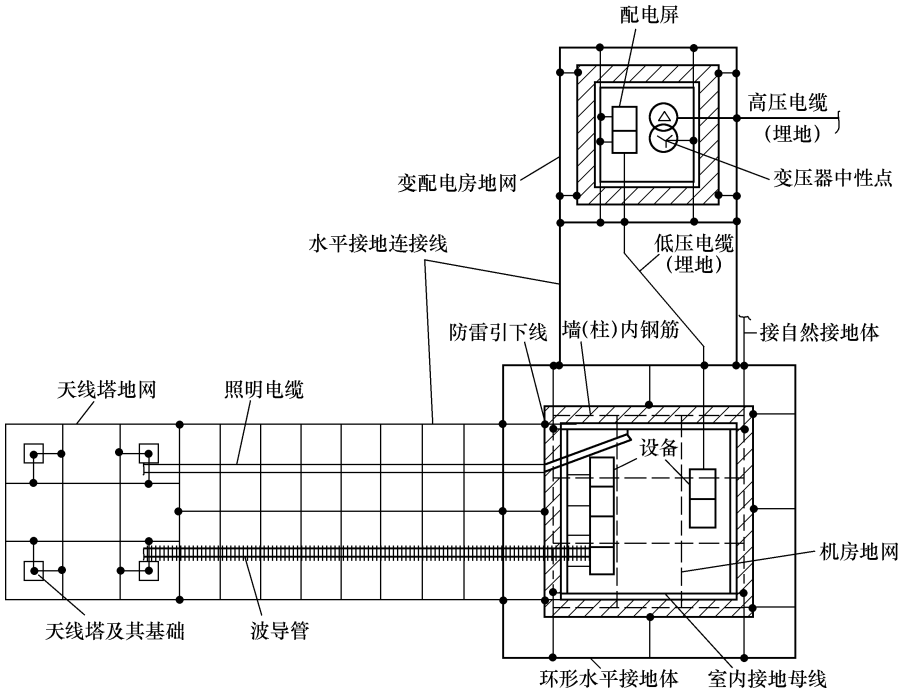


图 11-26 微波站防雷接地示意图

周围的闭合环形接地体。天线支架与围绕天线基础的闭合接地环路应有良好的电气连接，天线基础的闭合接地环与围绕机房四周敷设的闭合接地环至少应有两处以上可靠地连接在一起。当天线位于机房屋顶时，可利用建筑物钢筋混凝土构件内的钢筋作为引下线。地球站机房的防雷接地与通信及电源设备工作接地和保护接地应采用共用接地系统，其工频接地电阻不应大于 5Ω。对于年雷暴日小于 20 天的地区，接地电阻值可小于 10Ω。机房及电源系统的防雷措施与微波站机房及电源系统的防雷措施基本相同。卫星通信地球站防雷及接地示意图见图 11-27。

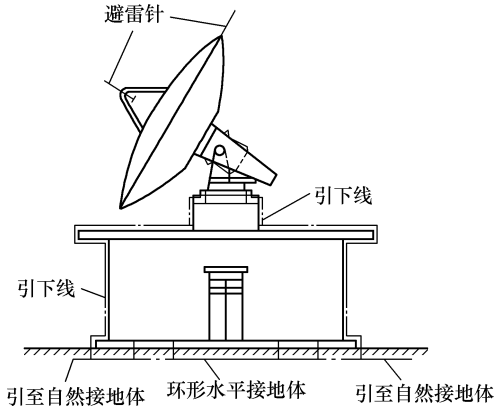


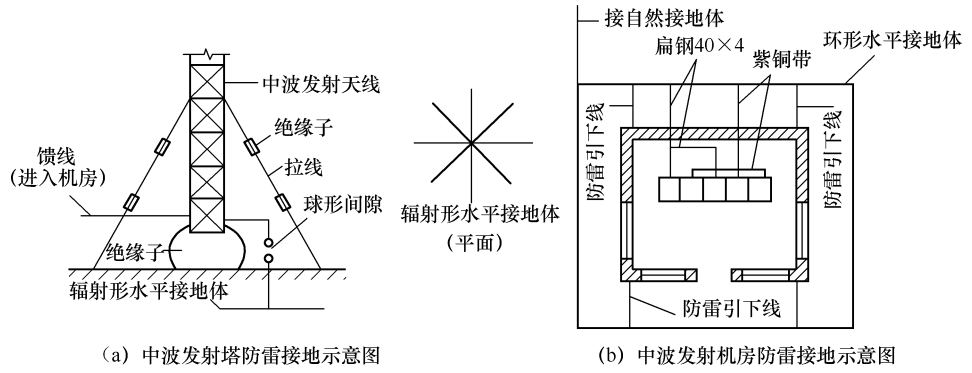
图 11-27 卫星地面站防雷及接地示意图

七、广播发射台的防雷

中波无线电广播台的天线塔对地是绝缘的，一般在塔基设有绝缘子，桅杆天线底部与大

地之间应安装球形放电间隙,放电电压应为底部工作电压(100%调幅峰值时)的1.2倍,底座绝缘子出厂时应做40kV以上的泄漏试验。桅杆天线必须敷设地网。地网自桅杆中心向外呈辐射状敷设,相邻导线间夹角应相等;地网导线根数一般为120根,每根导线长度与发射机输出功率及波长有关;地网埋设深度一般为300mm,在耕地上可加深到500～600mm,但自桅杆中心向外0.1λ(波长)以内仍应埋深300mm,地网导线采用ϕ3.0mm的硬铜线。中波发射塔防雷接地示意图见图11-28(a)。

发射机房采用避雷针或避雷网防直击雷,接地装置采用水平接地体围绕建筑物敷设成闭合环形,接地电阻不大于10Ω,保护接地和防雷接地无法分开时,总接地电阻要求不大于1Ω。发射机房内高频接地母线采用0.5mm厚的紫铜带,其宽度为当单机功率小于200kW时为200mm,当单机功率为200kW及以上时为300mm以上。高频接地极采用2000mm×1000mm×2mm的紫铜板,垂直埋入地下,顶部距地面不小于800mm,接地电阻不大于4Ω;机架与电气设备接地采用40mm×4mm的镀锌扁钢接到环形接地体上,中波发射机房防雷接地示意图见图11-28(b)。



(a) 中波发射塔防雷接地示意图　　(b) 中波发射机房防雷接地示意图

图11-28　广播发射台的防雷

进出机房的电话线、电力线均用铠装电缆或穿钢管埋地敷设。

短波广播发射台在天线塔上装设避雷针并将塔体接地,接地电阻不大于10Ω;机房防雷同中波机房。

八、雷达站的防雷

雷达站的天线本身可作为接闪器,亦可另设避雷针或避雷线作为接闪器以保护雷达天线,但应避免其对雷达工作的影响;天线与支撑架应直接接地,并可与雷达主机工作接地、电气设备保护接地以及防静电接地等共用接地体;接地装置宜利用建筑物基础钢筋作自然接地体,室外加敷的人工接地体宜敷设成闭合环形,其接地电阻一般要求不大于1Ω(当土壤电阻率较高时,可适当增加接地电阻要求值,但应采取等电位联结措施)。引入雷达主机的电源线、伺服机构电源线、天线的馈线、控制线及雷达数据线以及通信缆线等均需穿金属管(槽)或采用屏蔽电缆埋地敷设并在进入主机房或机柜入口处装设电涌保护器(SPD,参见本章第七节),电源系统宜在穿过不同的雷电防护区处装设SPD进行多级保护。雷达站电源系统的防雷措施基本与微波站相同。雷达站机房应利用建筑物钢筋构成网孔不大于200mm×200mm的屏蔽接地。机房内各设备的外露可导电部分还应与进入机房的各种金属管线、PE线、线缆金属屏蔽层、建筑物结构金属体等进行等电位联结。防雷接地示意图见

图 11-29。

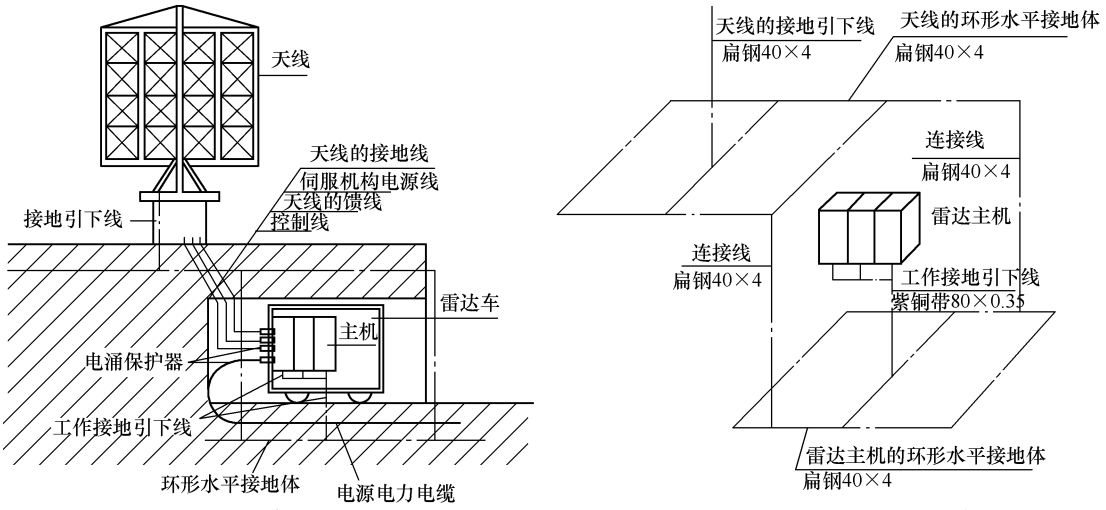


图 11-29 雷达站防雷接地示意图

九、测试调试场的防雷

在雷达试验场中埋设环形水平接地体，接地电阻不大于 4Ω，在地面上应留出接地端子。各种专用车辆的工作接地、保护接地、电源电缆的外皮及馈线屏蔽层外皮，均用接地线以最短的路径与接地端子相连，如图 11-30 所示。

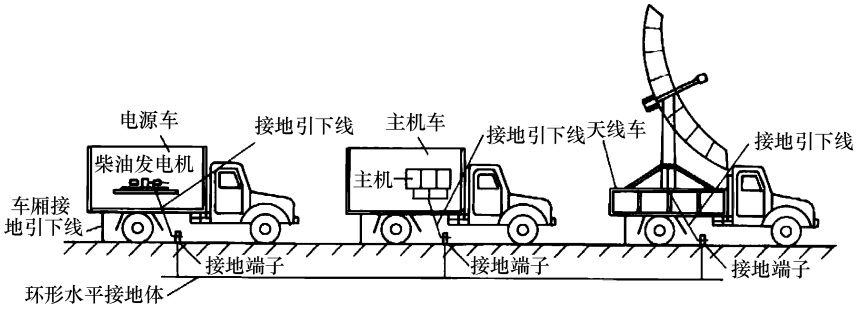


图 11-30 测试调试场防雷接地示意图

十、移动通信基站的防雷

移动通信基站的天线及铁塔的防雷做法与微波站相同。天馈线同轴电缆的金属护套应在天线塔的上、下部（当塔高≥60m 时还应在其中部）及机房入口处就近接地。为防止从天馈线引入的雷电涌流对通信设备的损害，天馈线同轴电缆进入机房后应在与通信设备的连接处安装天馈线电涌保护器（SPD），天馈线 SPD 的特性阻抗、工作频段、衰耗等参数应与通信设备相适应。

出入基站的信号线路，除采用有金属护套的电缆埋地敷设及在年雷暴日大于 20d、大地电阻率大于 100Ω·m 的地段布放防雷排流线以外，亦可采用光缆以防雷击。

对利用现有建筑作机房的移动通信基站，应尽量利用原有建筑物的防雷接地网及其他专用地网，并因地制宜就近加设一组基站地网。将基站地网与原有地网相互焊接连通至少

两点及以上。机房的工作接地、保护接地、建筑的防雷接地应共用接地装置。但工作接地与防雷接地在地网上的引接点相互距离不应小于5m。移动通信基站地网的接地电阻值应不大于5Ω,对于年雷暴日小于20d的地区,其接地电阻值可不大于10Ω。

当机房设有防静电地板时,应在地板下围绕机房敷设闭合环形接地母线作为地板金属支架的接地引线排,其材料为铜导线,截面积应不小于50mm^2,并从引线排的相对两侧对称地引出不少于两根截面积为50～75mm^2的铜质接地线,与机房内的接地汇集线连通。

机房和电源系统其余的防雷措施亦与微波站相同。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

11.5.1 微波站、电视差转台、卫星通信地球站、广播电视发射台、雷达站、雷达测试调试场、移动通信基站等建筑物的防雷,应符合下列规定:

1. 天线铁塔上的天线应在避雷针保护范围内,避雷针可固定在天线铁塔上,塔身金属结构可兼作接闪器和引下线。当天线塔位于机房旁边时,应在塔基四角外敷设铁塔接地网和闭合环形接地体,天线铁塔及防雷引下线应与该接地网和闭合环形接地体可靠连通。天线基础周围的闭合环形接地体与围绕机房四周敷设的闭合环形接地体应有两处以上部位可靠连接。

2. 天线铁塔上的天线馈线波导管或同轴传输线的金属外皮及敷线金属导管,应在塔的上下两端及超过60m时,还应在其中间部位与塔身金属结构可靠连接,并应在机房入口处的外侧与接地网连通。经走线架上塔的天线馈线,应在其转弯处上方0.5～1m范围内可靠接地,室外走线架亦应在始末两端可靠接地。塔上的天线安装框架、支持杆、灯具外壳等金属件,应与塔身金属结构用螺栓连接或焊接连通。塔顶航空障碍灯及塔上的照明灯电源线应采用带金属外皮的电缆或将导线穿入金属导管,电缆金属外皮或金属导管至少应在上下两端与塔身连接。

3. 卫星通信地球站天线的防雷,可采用独立避雷针或在天线口面上沿及副面调整器顶端预留的安装避雷针处分别安装相应的避雷针。当天线安装于地面上时,其防雷引下线应直接引至天线基础周围的闭合形接地体。当天线位于机房屋顶时,可利用建筑物结构钢筋作为其防雷引下线。

4. 中波无线电广播台的桅杆天线塔对地应是绝缘的,宜在塔基设有绝缘子,桅杆天线底部与大地之间安装球形放电间隙。桅杆天线必须自桅杆中心向外呈辐射状敷设接地网,地网相邻导体间夹角应相等。导体的数量及每根导体的长度,应根据发射机输出功率及波长确定。短波无线电广播台的天线塔上应装设避雷针并将塔体接地。无线电广播台发射机房内应设置高频接地母线及高频接地极。

5. 雷达站的天线本身可作为防雷接闪器。当另设避雷针或避雷线作为接闪器以保护雷达天线时,应避免其对雷达工作的影响。

6. 微波站、电视差转台、卫星通信地球站、广播电视发射台、雷达测试调试场、移动通信基站等设施的机房屋顶应设避雷网,其网格尺寸不应大于3m×3m,且应与屋顶四周敷设的闭合环形避雷带焊接连通。机房四周应设雷电流引下线,引下线可利用机房建筑结构柱内的两根以上主钢筋,并应与钢筋混凝土屋面板、梁及基础、桩基内的主钢筋相互连通。当天线塔直接位于屋顶上时,天线塔四角应在屋顶与雷电流引下线分别就近连通。机房外应围

绕机房敷设闭合环形水平接地体并在四角与机房接地网连通。对于钢筋混凝土楼板的地面和顶面，其楼板内所有结构钢筋应可靠连通，并应与闭合环形接地极连成一体。对于非钢筋混凝土楼板的地面和顶面，应在楼板构造内敷设不大于 1.5m×1.5m 的均压网，并应与闭合环形接地极连成一体。雷达站机房应利用地面、顶面和墙面内钢筋构成网格不大于 200mm×200mm 的笼形屏蔽接地体。

7. 微波站、电视差转台、卫星通信地球站、广播电视发射台、雷达站、雷达测试调试场、移动通信基站等设施机房及电力室内应在墙面、地槽或走线架上敷设环形或排形接地汇集线，机房和电力室接地汇集线之间应采用截面积不小于 40mm×4mm 热镀锌扁钢连接导体相互可靠连通，并应对称地各引出两根接地引入导体，与机房接地网就近焊接连通。

8. 微波站、电视差转台、卫星通信地球站、广播电视发射台、雷达站、雷达测试调试场、移动通信基站等设施的站区内严禁布设架空缆线，进出机房的各类缆线均应采用具有金属外护套的电缆或穿金属导管埋地敷设，其埋地长度不应小于 50m，两端应与接地网相连接。若其长度大于 60m，中间应接地。电缆在进站房处应将电缆芯线加电涌保护器，电缆内的空线应对应接地。

9. 雷达测试调试场应埋设环形水平接地体，其地面上应预留接地端子，各种专用车辆的功能接地、保护接地、电源电缆的外皮及馈线屏蔽层外皮，均应采用接地导体以最短路径与接地端子相连。

11.5.2 固定在建筑物上的节日彩灯、航空障碍标志灯及其他用电设备的线路，应采取下列防雷电波侵入措施。

1. 无金属外壳或保护网罩的用电设备，应处在接闪器的保护范围内。

2. 有金属外壳或保护网罩的用电设备，应将金属外壳或保护网罩就近与屋顶防雷装置相连。

3. 从配电盘引出的线路应穿钢导管，钢导管的一端应与配电盘外露可导电部分相连，另一端应与用电设备外露可导电部分及保护罩相连，并应就近与屋顶防雷装置相连，钢导管因连接设备而在中间断开时，应设跨接线，钢导管穿过防雷分区界面时，应在分区界面作等电位联结。

4. 在配电盘内，应在开关的电源侧与外露可导电部分之间装设浪涌保护器。

11.5.3 对于不装防雷装置的所有建筑物和构筑物，应在进户处将绝缘子铁脚连同铁横担一起接到电气设备的接地网上，并应在室内总配电盘装设浪涌保护器。

11.5.4 严禁在独立避雷针、避雷网、引下线和避雷线支柱上悬挂电话线、广播线和低压架空线等。

11.5.5 屋面露天汽车停车场应采用避雷针、架空避雷线(网)作接闪器，且应使屋面车辆和人员处于接闪器保护范围内。

11.5.6 粮、棉及易燃物大量集中的露天堆场，宜采取防直击雷措施。当其年计算雷击次数大于或等于 0.06 时，宜采用独立避雷针或架空避雷线防直击雷。独立避雷针和架空避雷线保护范围的滚球半径 h 可取 100m。当计算雷击次数时，建筑物的高度可按堆放物可能堆放的高度计算，其长度和宽度可按可能堆放面积的长度和宽度计算。

11.4 建筑物防雷和防雷击电磁脉冲设计的计算方法和设计要求

11.4.1 建筑物防雷装置的设计要求

11.4.1.2 防雷装置使用的材料

规范引用 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)



5.1.1 防雷装置使用的材料及其应用条件宜符合表 11-23 的规定。

表 11-23 防雷装置的材料及使用条件

材料	使用于大气中	使用于地中	使用于混凝土中	耐腐蚀情况		
				在下列环境中能耐腐蚀	在下列环境中增加腐蚀	与下列材料接触形成直流电耦合，可能受到严重腐蚀
铜	单根导体，绞线	单根导体，有镀层的绞线，铜管	单根导体，有镀层的绞线	在许多环境中良好	硫化物有机材料	—
热镀锌钢	单根导体，绞线	单根导体，钢管	单根导体，绞线	敷设于大气、混凝土和无腐蚀性的一般土壤中受到的腐蚀是可接受的	高氯化物含量	铜
电镀铜钢	单根导体	单根导体	单根导体	在许多环境中良好	硫化物	—
不锈钢	单根导体，绞线	单根导体，绞线	单根导体，绞线	在许多环境中良好	高氯化物含量	—
铝	单根导体，绞线	不适合	不适合	在含有低浓度硫和氯化物的大气中良好	碱性溶液	铜
铅	有镀铅层的单根导体	禁止	不适合	在含有高浓度硫酸化合物的大气中良好	—	铜不锈钢

注：①敷设于黏土或潮湿土壤中的镀锌钢可能受到腐蚀；

②在沿海地区，敷设于混凝土中的镀锌钢不宜延伸进入土壤中；

③不得在地中采用铅。

5.1.2 做防雷等电位联结各连接部件的最小截面，应符合表 11-24 的规定。连接单台或多台Ⅰ级分类试验或 D1 类电涌保护器的单根导体的最小截面，还应按下式计算：

$$S_{min} \geqslant I_{imp}/8 \tag{11-56}$$

式中 S_{min}——单根导体的最小截面(mm^2)；

I_{imp}——流入该导体的雷电流(kA)。

表 11-24 防雷装置各连接部件的最小截面

等电位联结部件			材料	截面/mm^2
等电位联结带(铜、外表面镀铜的钢或热镀锌钢)			Cu(铜)、Fe(铁)	50
从等电位联结带至接地装置或各等电位联结带之间的连接导体			Cu(铜)	16
			Al(铝)	25
			Fe(铁)	50
从屋内金属装置至等电位联结带的连接导体			Cu(铜)	6
			Al(铝)	10
			Fe(铁)	16
连接电涌保护器的导体	电气系统	Ⅰ级试验的电涌保护器	Cu(铜)	6
		Ⅱ级试验的电涌保护器		2.5
		Ⅲ级试验的电涌保护器		1.5
	电子系统	D1 类电涌保护器		1.2
		其他类的电涌保护器(连接导体的截面可小于 1.2mm^2)		根据具体情况确定

11.4.1.2 接闪器

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

5.2.1 接闪器的材料、结构和最小截面应符合表 11-25 的规定。

表 11-25 接闪线(带)、接闪杆和引下线的材料、结构与最小截面

材料	结构	最小截面/mm^2	备注⑩
铜,镀锡铜①	单根扁铜	50	厚度 2mm
	单根圆铜⑦	50	直径 8mm
	铜绞线	50	每股线直径 1.7mm
	单根圆铜③④	176	直径 15mm
铝	单根扁铝	70	厚度 3mm
	单根圆铝	50	直径 8mm
	铝绞线	50	每股线直径 1.7mm
铝合金	单根扁形导体	50	厚度 2.5mm
	单根圆形导体	50	直径 8mm
	绞线	50	每股线直径 1.7mm
	单根圆形导体③	176	直径 15mm
	外表面镀铜的单根圆形导体	50	直径 8mm,径向镀铜厚度至少 70μm,铜纯度 99.9%

续表

材料	结构	最小截面/mm²	备注⑩
热浸镀锌钢②	单根扁钢	50	厚度 2.5mm
	单根圆钢⑨	50	直径 8mm
	绞线	50	每股线直径 1.7mm
	单根圆钢③④	176	直径 15mm
不锈钢⑤	单根扁钢⑥	50⑧	厚度 2mm
	单根圆钢⑥	50⑧	直径 8mm
	绞线	70	每股线直径 1.7mm
	单根圆钢③④	176	直径 15mm
外表面镀铜的钢	单根圆钢(直径 8mm)	50	镀铜厚度至少 70μm，铜纯度 99.9%
	单根扁钢(厚 2.5mm)		

注：①热浸或电镀锡的锡层最小厚度为 1μm；

②镀锌层宜光滑连贯、无焊剂斑点，镀锌层圆钢至少 22.7g/m²、扁钢至少 32.4g/m²；

③仅应用于接闪杆，当应用于机械应力没达到临界值之处，可采用直径 10mm、最长 1m 的接闪杆，并增加固定；

④仅应用于入地之处；

⑤不锈钢中，铬的含量等于或大于 16%，镍的含量等于或大于 8%，碳的含量等于或小于 0.08%；

⑥对埋于混凝土中以及与可燃材料直接接触的不锈钢，其最小尺寸宜增大至直径 10mm 的 78mm²(单根圆钢)和最小厚度 3mm 的 75mm²(单根扁钢)；

⑦在机械强度没有重要要求之处，50mm²(直径 8mm)可减为 28mm²(直径 6mm)。并应减小固定支架间的间距；

⑧当温升和机械受力是重点考虑之处，25mm²加大至 50mm²；

⑨避免在单位能量 10MJ/Ω 下熔化的最小截面，铜为 16mm²、铝为 25mm²、钢为 50mm²、不锈钢为 50mm²；

⑩截面积允许误差为−3%。

5.2.2 接闪杆采用热镀锌圆钢或钢管制成时，其直径应符合下列规定：

1. 杆长 1m 以下时，圆钢不应小于 12mm，钢管不应小于 20mm。

2. 杆长 1～2m 时，圆钢不应小于 16mm，钢管不应小于 25mm。

3. 独立烟囱顶上的杆，圆钢不应小于 20mm，钢管不应小于 40mm。

5.2.3 接闪杆的接闪端宜做成半球状，其最小弯曲半径为宜 4.8mm，最大宜为 12.7mm。

5.2.4 当独立烟囱上采用热镀锌接闪环时，其圆钢直径不应小于 12mm；扁钢截面不应小于 100mm²，其厚度不应小于 4mm。

5.2.5 架空接闪线和接闪网宜采用截面不小于 50mm²的热镀锌钢绞线或铜绞线。

5.2.6 明敷接闪导体固定支架的间距不宜大于表 11-26 的规定。固定支架的高度不宜小于 150mm。

表 11-26 明敷接闪导体和引下线固定支架的间距

布置方式	扁形导体和绞线固定支架的间距/mm	单根圆形导体固定支架的间距/mm
安装于水平面上的水平导体	500	1000
安装于垂直面上的水平导体	500	1000
安装于从地面至高 20m 垂直面上的垂直导体	1000	1000

续表

布置方式	扁形导体和绞线固定支架的间距/mm	单根圆形导体固定支架的间距/mm
安装在高于20m垂直面上的垂直导体	500	1000

5.2.7 除第一类防雷建筑物外，金属屋面的建筑物宜利用其屋面作为接闪器，并应符合下列规定：

1. 板间的连接应是持久的电气贯通，可采用铜锌合金焊、熔焊、卷边压接、缝接、螺钉或螺栓连接。

2. 金属板下面无易燃物品时，铅板的厚度不应小于2mm，不锈钢、热镀锌钢、钛和铜板的厚度不应小于0.5mm，铝板的厚度不应小于0.65mm，锌板的厚度不应小于0.7mm。

3. 金属板下面有易燃物品时，不锈钢、热镀锌钢和钛板的厚度不应小于4mm，铜板的厚度不应小于5mm，铝板的厚度不应小于7mm。

4. 金属板应无绝缘被覆层。

注：薄的油漆保护层或1mm厚沥青层或0.5mm厚聚氯乙烯层均不应属于绝缘被覆层。

5.2.8 除第一类防雷建筑物和《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.2条第1款的规定外，屋顶上永久性金属物宜作为接闪器，但其各部件之间均应连成电气贯通，并应符合下列规定：

1. 旗杆、栏杆、装饰物、女儿墙上的盖板等，其截面应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表5.2.1的规定，其壁厚应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第5.2.7条的规定。

2. 输送和储存物体的钢管和钢罐的壁厚不应小于2.5mm；当钢管、钢罐一旦被雷击穿，其内的介质对周围环境造成危险时，其壁厚不应小于4mm。

3. 利用屋顶建筑构件内的钢筋作接闪器应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.5条和第4.4.5条的规定。

5.2.9 除利用混凝土构件钢筋或在混凝土内专设钢材作接闪器外，钢质接闪器应热镀锌。在腐蚀性较强的场所，还应采取加大截面或其他的防腐措施。

5.2.10 不得利用安装在接收无线电视广播天线杆顶上的接闪器保护建筑物。

5.2.11 专门敷设的接闪器应由下列的一种或多种方式组成：

1. 独立接闪杆。

2. 架空接闪线或架空接闪网。

3. 直接装设在建筑物上的接闪杆、接闪带或接闪网。

5.2.12 专门敷设的接闪器，其布置应符合表11-27的规定。布置接闪器时，可单独或任意组合采用接闪杆、接闪带、接闪网。

表11-27 接闪器布置

建筑物防雷类别	滚球半径 h_r/m	接闪网网格尺寸/m
第一类防雷建筑物	30	≤5×5或≤6×4
第二类防雷建筑物	45	≤10×10或≤12×8

续表

建筑物防雷类别	滚球半径 h_r/m	接闪网网格尺寸/m
第三类防雷建筑物	60	≤20×20 或≤24×16

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

11.6.1 不得利用安装在接收无线电视广播的共用天线的杆顶上的接闪器保护建筑物。

11.6.2 建筑物防雷装置可采用避雷针、避雷带(网)、屋顶上的永久性金属物及金属屋面作为接闪器。

11.6.3 避雷针宜采用圆钢或焊接钢管制成,其直径应符合表 11-28 的规定。

表 11-28 避雷针的直径

材料规格 / 针长、部位	圆钢直径/mm	钢管直径/mm
1m 以下	≥12	≥20
1～2m	≥16	≥25
烟囱顶上	≥20	≥40

11.6.4 避雷网和避雷带宜采用圆钢或扁钢,其尺寸应符合表 11-29 的规定。

表 11-29 避雷网、避雷带及烟囱顶上的避雷环规格

材料规格 / 类别	圆钢直径/mm	扁钢截面/mm^2	扁管厚度/mm
避雷网、避雷带	≥8	≥48	≥4
烟囱上的避雷环	≥12	≥100	≥4

11.6.5 对于利用钢板、铜板、铝板等做屋面的建筑物,当符合下列要求时,宜利用其屋面作为接闪器:

1. 金属板之间具有持久的贯通连接;

2. 当金属板需要防雷击穿孔时,钢板厚度不应小于 4mm,铜板厚度不应小于 5mm,铝板厚度不应小于 7mm;

3. 当金属板不需要防雷击穿孔和金属板下面无易燃物品时,钢板厚度不应小于 0.1mm,铜板厚度不应小于 0.5mm,铝板厚度不应小于 0.65mm,锌板厚度不应小于 0.7mm;

4. 金属板应无绝缘被覆层。

11.6.6 屋顶上的永久性金属物宜作为接闪器,但其所有部件之间均应连成电气通路,并应符合下列规定:

1. 对于旗杆、栏杆、装饰物等,其规格不应小于《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.6.2 条和第 11.6.3 条的规定;

2. 钢管、钢罐的壁厚不应小于 2.5mm,当钢管、钢罐一旦被雷击穿,其介质对周围环境

造成危险时，其壁厚不得小于4mm。

11.6.7 接闪器应热镀锌，焊接处应涂防腐漆。在腐蚀性较强的场所，还应加大其截面或采取其他防腐措施。

11.6.8 接闪器的布置及保护范围应符合下列规定：

1. 接闪器应由下列各形式之一或任意组合而成：

1)独立避雷针；

2)直接装设在建筑物上的避雷针、避雷带或避雷网。

2. 布置接闪器时应优先采用避雷网、避雷带或采用避雷针，并应按表11-30规定的不同建筑防雷类别的滚球半径 h_r，采用滚球法计算接闪器的保护范围。

注：滚球法是以 h_r 为半径的一个球体，沿需要防直击雷的部位滚动，当球体只触及接闪器(包括利用作为接闪器的金属物)或接闪器和地面(包括与大地接触能承受雷击的金属物)而不触及需要保护的部位时，则该部分就得到接闪器的保护。滚球法确定接闪器的保护范围应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录的规定。

表11-30 按建筑物的防雷类别布置接闪器

建筑物防雷类别	滚球半径 h_r/m	避雷网尺寸
第二类防雷建筑物	45	≤10m×10m或≤12m×8m
第三类防雷建筑物	60	≤20m×20m或≤24m×16m

11.4.1.3 引下线

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

规范引用

5.3.1 引下线的材料、结构和最小截面应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表5.2.1的规定取值。

5.3.2 明敷引下线固定支架的间距不宜大于《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表5.2.6的规定。

5.3.3 引下线宜采用热镀锌圆钢或扁钢，宜优先采用圆钢。

当独立烟囱上的引下线采用圆钢时，其直径不应小于12mm；采用扁钢时，其截面不应小于100mm^2，厚度不应小于4mm。

防腐措施应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第5.2.9条的规定。

利用建筑构件内的钢筋作引下线应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4.3.5条和第4.4.5条的规定。

5.3.4 专设引下线应沿建筑物外墙外表面明敷，并经最短路径接地；建筑外观要求较高者可暗敷，但其圆钢直径不应小于10mm，扁钢截面不应小于80mm^2。

5.3.5 建筑物的钢梁、钢柱、消防梯等金属构件以及幕墙的金属立柱宜作为引下线，但其各部件之间均应连成电气贯通，可采用铜锌合金焊、熔焊、卷边压接、缝接、螺钉或螺栓连接；其截面应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表5.2.1的规定取值；各金属构件可覆有绝缘材料。

5.3.6 采用多根专设引下线时，应在各引下线上距地面0.3～1.8m之间装设断接卡。

当利用混凝土内的钢筋、钢柱作为自然引下线并同时采用基础接地体时，可不设断接卡，但利用钢筋作引下线时应在室内外的适当地点设若干连接板。当仅利用钢筋作引下线

并采用埋于土壤中的人工接地体时,应在每根引下线上距地面不低于0.3m处设接地体连接板。采用埋于土壤中的人工接地体时应设断接卡,其上端应与连接板或钢柱焊接。连接板处宜有明显标志。

5.3.7 在易受机械损伤之处,地面上1.7m至地面下0.3m的一段接地线应采用暗敷或采用镀锌角钢、改性塑料管或橡胶管等加以保护。

5.3.8 第二类防雷建筑物或第三类防雷建筑物为钢结构或钢筋混凝土建筑物时,在其钢构件或钢筋之间的连接满足《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)规定并利用其作为引下线的条件下,当其垂直支柱均起到引下线的作用时,可不要求满足专设引下线之间的间距。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

11.7.1 建筑物防雷装置宜利用建筑物钢筋混凝土中的钢筋或采用圆钢、扁钢作为引下线。

11.7.2 引下线宜采用圆钢或扁钢。当采用圆钢时,直径不应小于8mm。当采用扁钢时,截面不应小于48mm^2,厚度不应小于4mm。

对于装设在烟囱上的引下线,圆钢直径不应小于12mm,扁钢截面不应小于100mm^2且厚度不应小于4mm。

11.7.3 除利用混凝土中的钢筋作引下线外,引下线应热镀锌,焊接处应涂防腐漆。在腐蚀性较强的场所,还应加大截面或采取其他的防腐措施。

11.7.4 专设引下线宜沿建筑物外墙明敷设,并应以较短路径接地,建筑艺术要求较高者也可暗敷,但截面应加大一级。

11.7.5 建筑物的金属构件、金属烟囱、烟囱的金属爬梯等可作为引下线,其所有部件之间均应连成电气通路。

11.7.6 采用多根专设引下线时,宜在各引下线距地面1.8m以下处设置断接卡。

当利用钢筋混凝土中的钢筋、钢柱作为引下线并同时利用基础钢筋作为接地网时,可不设断接卡。当利用钢筋作引下线时,应在室内外适当地点设置连接板,供测量接地、接人工接地体和等电位联结用。

当仅利用钢筋混凝土中的钢筋作引下线并采用埋于土壤中的人工接地体时,应在每根引下线的距地面不低于0.5m处设接地体连接板。采用埋于土壤中的人工接地体时,应设断接卡,其上端应与连接板或钢柱焊接。连接板处应有明显标志。

11.7.7 利用建筑钢筋混凝土中的钢筋作为防雷引下线时,其上部应与接闪器焊接,下部在室外地坪下0.8～1m处宜焊出一根直径为19mm或40mm×4mm镀锌钢导体,此导体伸出外墙的长度不宜小于1m。作为防雷引下线的钢筋应符合下列要求:

1. 当钢筋直径大于或等于16mm时,应将两根钢筋绑扎或焊接在一起,作为一组引下线;

2. 当钢筋直径大于或等于10mm且小于16mm时,应利用四根钢筋绑扎或焊接作为一组引下线。

11.7.8 当建筑物、构筑物钢筋混凝土内的钢筋具有贯通性连接并符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第11.7.7条要求时,竖向钢筋可作为引下线;当横向钢筋与引下线有可靠连接时,横向钢筋可作为均压环。

11.7.9 在易受机械损坏的地方，地面上 1.7m 至地面下 0.3m 的引下线应加保护设施。

11.4.1.4 接地装置

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

11.8.1 民用建筑宜优先利用钢筋混凝土中的钢筋作为防雷接地网，当不具备条件时，宜采用圆钢、钢管、角钢或扁钢等金属体作人工接地极。

11.8.2 垂直埋设的接地极，宜采用圆钢、钢管、角钢等，水平埋设的接地极宜采用扁钢、圆钢等。人工接地极的最小尺寸应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)表 12.5.1 的规定。

11.8.3 接地极及其连接导体应热镀锌，焊接处应涂防腐漆。在腐蚀性较强的土壤中，还应适当加大其截面或采取其他防腐措施。

11.8.4 垂直接地体的长宜为 2.5m。垂直接地极间的距离及水平接地极间的距离宜为 5m，当受场所限制时可减小。

11.8.5 接地极埋设深度不宜小于 0.6m，接地极应远离由于高温影响使土壤电阻率升高的地方。

11.8.6 当防雷装置引下线大于或等于两根时，每根引下线的冲击接地电阻均应满足对该建筑物所规定的防直击雷冲击接地电阻值。

11.8.7 为降低跨步电压，防直击雷的人工接地网距建筑物入口处及人行道不宜小于 3m，当小于 3m 时，应采取下列措施之一：

1. 水平接地极局部深埋不应小于 1m；

2. 水平接地极局部应包以绝缘物；

3. 宜采用沥青碎石地面或在接地网上面敷设 50～80mm 沥青层，其宽度不宜小于接地网两侧各 2m。

11.8.8 当基础采用以硅酸盐为基料的水泥和周围土壤的含水率不低于 4%以及基础的外表面无防腐层或有沥青质的防腐层时，钢筋混凝土基础内的钢筋宜作为接地网，并应符合下列要求：

1. 每根引下线处的冲击接地电阻不宜大于 5Ω；

2. 利用基础内钢筋网作为接地体时，每根引下线在距地面 0.5m 以下的钢筋表面积总和，对第二类防雷建筑物不应小于 $4.24K_c^2(m^2)$，对第三类防雷建筑物不应小于 $1.89K_c^2(m^2)$。

注：K_c 为分流系数，取值与《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11.3.5 条中的取值一致。

11.8.9 当采用敷设在钢筋混凝土中的单根钢筋或圆钢作为防雷装置时，钢筋或圆钢的直径不应小于 10mm。

11.8.10 沿建筑物外面四周敷设成闭合环状的水平接地体，可埋设在建筑物散水以外的基础槽边。

11.8.11 防雷装置的接地电阻，应考虑在雷雨季节，土壤干、湿状态的影响。

11.8.12 在高土壤电阻率地区，宜采用下列方法降低防雷接地网的接地电阻：

1. 可采用多支线外引接地网，外引长度不应大于有效长度(°)；

2. 可将接地体埋于较深的低电阻率土壤中，也可采用井式或深钻式接地极；

3. 可采用降阻剂,降阻剂应符合环保要求;

4. 可换土;

5. 可敷设水下接地网。

规范引用 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

5.4.1 接地体的材料、结构和最小尺寸应符合表 11-31 的规定。利用建筑构件内的钢筋作接地装置应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 4.3.5 条和第 4.4.5 条的规定。

表 11-31 接地体的材料、结构和最小尺寸

材料	结构	最小尺寸			备注
		垂直接地体直径 /mm	水平接地体 /mm²	接地板 /mm	
铜、镀锡铜	铜绞线	—	50	—	每股直径 1.7mm
	单根圆铜	15	50	—	—
	单根扁铜	—	50	—	厚度 2mm
	铜管	20	—	—	壁厚 2mm
	整块铜板	—	—	500×500	厚度 2mm
	网格铜板	—	—	600×600	各网格边截面 25mm×2mm,网格网边总长度不小于 4.8m
热镀锌钢	圆钢	14	78	—	—
	钢管	20	—	—	壁厚 2mm
	扁钢	—	90	—	厚度 3mm
	钢板	—	—	500×500	厚度 3mm
	网格钢板	—	—	600×600	各网格边截面 30mm×3mm,网格网边总长度不小于 4.8m
	型钢	注③	—	—	—
裸钢	钢绞线	—	70	—	每股直径 1.7mm
	圆钢	—	78	—	—
	扁钢	—	75	—	厚度 3mm
外表面镀铜的钢	圆钢	14	50	—	镀铜厚度至少 250μm,铜纯度 99.9%
	扁钢	—	90(厚 3mm)	—	
不锈钢	圆形导体	15	78	—	—
	扁形导体	—	100	—	厚度 2mm

注:①热镀锌钢的镀锌层应光滑连贯、无焊剂斑点,镀锌层圆钢至少 22.7g/m²、扁钢至少 32.4g/m²;

②热镀锌之前螺纹应先加工好;

③不同截面的型钢,其截面不小于 290mm²,最小厚度 3mm,可采用 50mm×50mm×3mm 角钢;

④当完全埋在混凝土中时才可采用裸钢;

⑤外表面镀铜的钢,铜应与钢结合良好;

⑥不锈钢中,铬的含量等于或大于 16%,镍的含量等于或大于 5%,钼的含量等于或大于 2%,碳的含量等于或小于 0.08%;

⑦截面积允许误差为−3%。

5.4.2 在符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 5.1.1 规定的条件下,埋于土壤中的人工垂直接地体宜采用热镀锌角钢、钢管或圆钢;埋于土壤中的人工水平接地体宜采用热镀锌扁钢或圆钢。

接地线应与水平接地体的截面相同。

5.4.3 人工钢质垂直接地体的长度宜为 2.5m。其间距以及人工水平接地体的间距均宜为 5m,当受地方限制时可适当减小。

5.4.4 人工接地体在土壤中的埋设深度不应小于 0.5m,并宜敷设在当地冻土层以下,其距墙或基础不宜小于 1m。接地体宜远离由于烧窑、烟道等高温影响使土壤电阻率升高的地方。

5.4.5 在敷设于土壤中的接地体连接到混凝土基础内起基础接地体作用的钢筋或钢材的情况下,土壤中的接地体宜采用铜质或镀铜或不锈钢导体。

5.4.6 在高土壤电阻率的场地,降低防直击雷冲击接地电阻宜采用下列方法:

1. 采用多支线外引接地装置,外引长度不应大于有效长度,有效长度应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录 C 的规定。

2. 接地体埋于较深的低电阻率土壤中。

3. 换土。

4. 采用降阻剂。

5.4.7 防直击雷的专设引下线距出入口或人行道边沿不宜小于 3m。

5.4.8 接地装置埋在土壤中的部分,其连接宜采用放热焊接;当采用通常的焊接方法时,应在焊接处做防腐处理。

5.4.9 接地装置工频接地电阻的计算应符合现行国家标准《交流电气装置的接地设计规范》(GB 60065—2011)的规定,其与冲击接地电阻的换算应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录 C 的规定。

11.4.1.5 防止雷击电磁脉冲

11.4.1.5.1 基本规定

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

6.1.1 在工程的设计阶段不知道电子系统的规模和具体位置的情况下,若预计将来会有需要防雷击电磁脉冲的电气和电子系统,应在设计时将建筑物的金属支撑物、金属框架或钢筋混凝土的钢筋等自然构件、金属管道、配电的保护接地系统等与防雷装置组成一个接地系统,并应在需要之处预埋等电位联结板。

6.1.2 当电源采用 TN 系统时,从建筑物总配电箱起供电给本建筑物内的配电线路和分支线路必须采用 TN-S 系统。

11.4.1.5.2 防雷区和防雷击电磁脉冲。

规范引用 《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

6.2.1 防雷区的划分应符合下列规定：

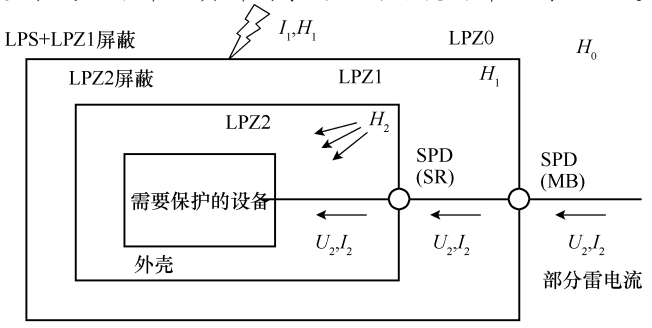
1. 本区内的各物体都可能遭到直接雷击并导走全部雷电流，以及本区内的雷击电磁场强度没有衰减时，应划分为 $LPZ0_A$ 区。

2. 本区内的各物体不可能遭到大于所选滚球半径对应的雷电流直接雷击，以及本区内的雷击电磁场强度仍没有衰减时，应划分为 $LPZ0_B$ 区。

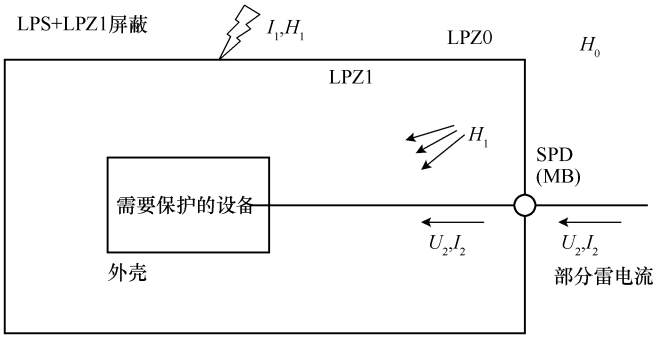
3. 本区内的各物体不可能遭到直接雷击，且由于在界面处的分流，流经各导体的电涌电流比 $LPZ0_B$ 区内的更小，以及本区内的雷击电磁场强度可能衰减，衰减程度取决于屏蔽措施时，应划分为 LPZ1 区。

4. 需要进一步减小流入的电涌电流和雷击电磁场强度时，增设的后续防雷区应划分为 LPZ2…n 后续防雷区。

6.2.2 安装磁场屏蔽后续防雷区、安装协调配合好的多组电涌保护器，宜按照需要保护的设备的数量、类型和耐压水平及其所要求的磁场环境选择见图 11-31。

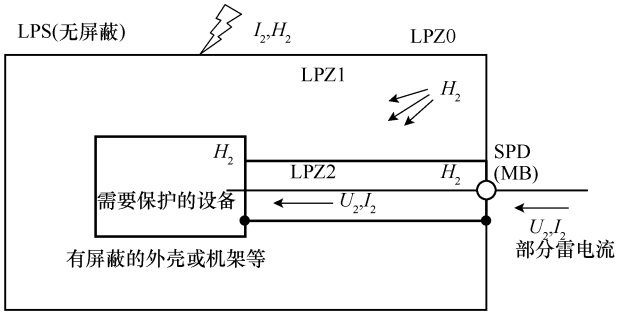


(a)采用大空间屏蔽和协调配合好的电涌保护器保护
注：设备得到良好的防导入电涌的保护，U_2大大小于U_0和I_2大大小于I_0，以及H_2大大小于H_0防辐射磁场的保护

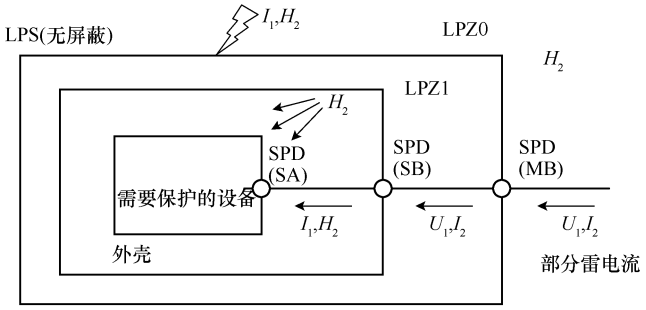


(b)采用LPZ1的大空间屏蔽和进户处安装电涌保护器的保护
注：设备得到防导入电涌的保护，U_1小于U_0和I_1小于I_0，以及H_1小于H_0防辐射磁场的保护

图 11-31 防雷击电磁脉冲



(c)采用内部线路屏蔽和在进入LPZ1处安装电涌保护器的保护
注：设备得到防线路导入电涌的保护，U_2小于U_0和I_2小于I_0，以及H_2小于H_0防辐射磁场的保护



(d)采用协调配合好的电涌保护器保护
注：设备得到防线路导入电涌的保护，U_2大大小于U_0和I_2大大小于I_0，但不需防H_0辐射磁场的保护

MB—总配电箱；SB—分配电箱；SA—插座

图 11-31 防雷击电磁脉冲(续)

6.2.3 在两个防雷区的界面上宜将所有通过界面的金属物做等电位联结。当线路能承受所发生的电涌电压时，电涌保护器可安装在被保护设备处，而线路的金属保护层或屏蔽层宜首先于界面处做一次等电位联结。

注：$LPZ0_A$与$LPZ0_B$区之间无实物界面。

11.4.1.5.3 屏蔽、接地和等电位联结的要求。

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

规范引用

6.3.1 屏蔽、接地和等电位联结的要求宜联合采取下列措施：

1. 所有与建筑物组合在一起的大尺寸金属件都应等电位联结在一起，并应与防雷装置相连。但第一类防雷建筑物的独立接闪器及其接地装置除外。

2. 在需要保护的空间内，采用屏蔽电缆时其屏蔽层应至少在两端，并宜在防雷区交界处做等电位联结，系统要求只在一端做等电位联结时，应采用两层屏蔽或穿钢管敷设，外层屏蔽或钢管应至少在两端，并宜在防雷区交界处做等电位联结。

3. 分开的建筑物之间的连接线路，若无屏蔽层，线路应敷设在金属管、金属格栅或钢筋成格栅形的混凝土管道内。金属管、金属格栅或钢筋格栅从一端到另一端应是导电贯通，并应在两端分别连到建筑物的等电位联结带上；若有屏蔽层，屏蔽层的两端应连到建筑物的等电位联结带上。

4. 对由金属物、金属框架或钢筋混凝土钢筋等自然构件构成建筑物或房间的格栅形大

空间屏蔽,应将穿入大空间屏蔽的导电金属物就近与其做等电位联结。

6.3.2 对屏蔽效率未做试验和理论研究时,磁场强度的衰减应按下列方法计算。

1. 闪电击于建筑物以外附近时,磁场强度应按下列方法计算。

1)当建筑物和房间无屏蔽时所产生的无衰减磁场强度,相当于处于 $LPZ0_A$ 和 $LPZ0_B$ 区内的磁场强度,应按下式计算:

$$H_0 = i_0/(2\pi s_a) \tag{11-57}$$

式中 H_0——无屏蔽时产生的无衰减磁场强度(A/m);

i_0——最大雷电流(A),按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 F.0.1-1、表 F.0.1-2 和表 F.0.1-3 的规定取值;

s_a——雷击点与屏蔽空间之间的平均距离(m)(见图 11-32),按式(11-62)或式(11-63)计算。

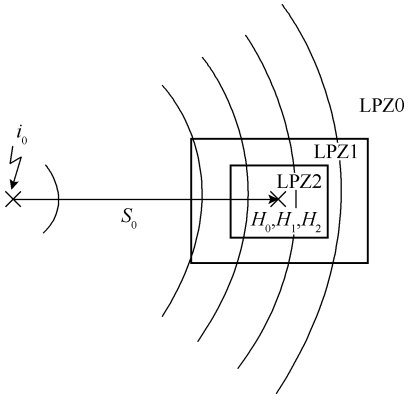


图 11-32 附近雷击时的环境情况

2)当建筑物或房间有屏蔽时,在格栅大空间屏蔽内,即在 LPZ1 区内的磁场强度,应按下式计算:

$$H_1 = H_0/10^{SF/20} \tag{11-58}$$

式中 H_1——格栅形大空间屏蔽内的磁场强度(A/m);

SF——屏蔽系数(dB),按表 6.3.2-1 的公式计算。

表 11-32 格栅形大空间屏蔽的屏蔽系数

材料	SF(dB)	
	25kHz①	1MHz② 或 250kHz
铜/铝	$20\times\log(8.5/w)$	$20\times\log(8.5/w)$
钢③	$20\times\log[(8.5/w/\sqrt{1+18\times10^{-6}/r^2}]$	$20\times\log(8.5/w)$

注:①适用于首次雷击的磁场;

②1MHz 适用于后续雷击的磁场,250kHz 适用于首次负级性雷击的磁场;

③相对磁导系数 $\mu_r \approx 200$。

(1)w 为格栅形屏蔽的网格宽(m);r 为格栅形屏蔽网格导体的半径(m)。

(2)当计算式得出的值为负数时取 SF=0;若建筑物具有网格形等电位联结网络,SF 可增加 6dB。

2. 表 11-32 的计算值应仅对在各 LPZ 区内距屏蔽层有一安全距离的安全空间内才有效(见图 11-33),安全距离应按下列公式计算:

当 SF≥10 时:

$$d_{s/1} = w^{SF/10} \tag{11-59}$$

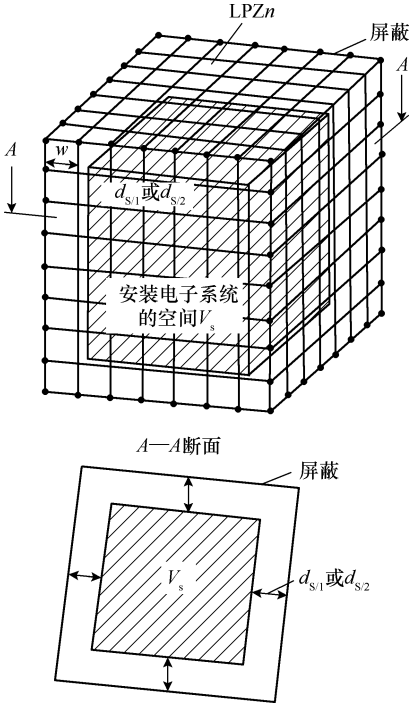
当 SF<10 时:

$$d_{s/1} = w \tag{11-60}$$

式中 $d_{s/1}$——安全距离(m);

w——格栅形屏蔽的网格宽(m);

SF——按表 11-32 计算的屏蔽系数(dB)。



注:空间 V_s 为安全空间

图 11-33 在 LPZn 区内供安放电气和电子系统的空间

3. 在闪电击在建筑物附近磁场强度最大的最坏情况下,按建筑物的防雷类别、高度、宽度或长度可确定可能的雷击点与屏蔽空间之间平均距离的最小值(见图 11-34),可按下列方法确定:

1)对应三类防雷建筑物最大雷电流的滚球半径应符合表 11-33 的规定。滚球半径可按下式计算:

$$R = 10(i_0)^{0.65} \tag{11-33}$$

式中 R——滚球半径(m);

i_0——最大雷电流(kA),按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 F.0.1-1、表 F.0.1-2 或表 F.0.1-3 的规定取值。

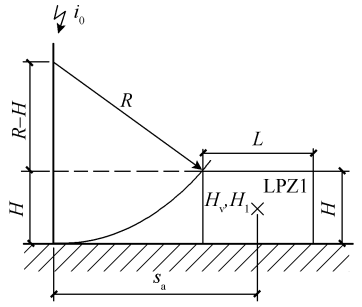


图 11-34 取决于滚球半径和建筑物尺寸的最小平均距离

表 11-33 与最大雷电流对应的滚球半径

防雷建筑物类别	最大雷电流 i_0/kA			对应的滚球半径 R/m		
	正极性首次雷击	负极性首次雷击	负极性后续雷击	正极性首次雷击	负极性首次雷击	负极性后续雷击
第一类	200	100	50	313	200	127
第二类	150	75	37.5	260	165	105
第三类	100	50	25	200	127	81

2)雷击点与屏蔽空间之间的最小平均距离,应按下列公式计算。

当 $H<R$ 时:

$$s_a = \sqrt{H(2R-H)} + L/2 \tag{11-62}$$

当 $H \geqslant R$ 时:

$$s_a = R + L/2 \tag{11-63}$$

式中 H——建筑物高度(m);

L——建筑物长度(m)。

根据具体情况建筑物长度可用宽度代入。对所取最小平均距离小于式(11-62)或式(11-63)计算值的情况,闪电将直接击在建筑物上。

4. 在闪电直接击在位于 LPZ0$_A$ 区的格栅形大空间屏蔽层或与其连接的接闪器上的情况下,其内部 LPZ1 区内安全空间内某点的磁场强度应按下式计算(见图 11-35):

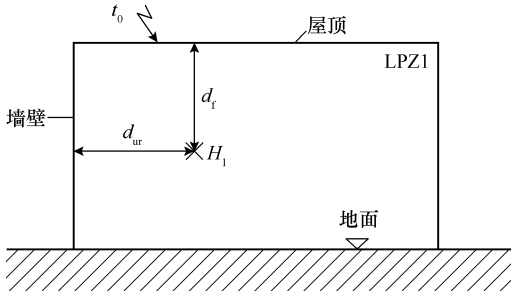


图 11-35 闪电直接击于屋顶接闪器时 LPZ1 区内的磁场强度

$$H_1 = k_H \cdot i_0 \cdot w/(d_w \cdot \sqrt{d_r}) \tag{11-64}$$

式中 H_1——安全空间内某点的磁场强度(A/m);

d_r——所确定的点距 LPZ 1 区屏蔽顶的最短距离(m)；

d_w——所确定的点距 LPZ 1 区屏蔽壁的最短距离(m)；

k_H——形状系数$(1/\sqrt{m})$，取 $k_H=0.01(1/\sqrt{m})$；

w——LPZ1 区格栅形屏蔽的网格宽(m)。

5. 式(11-64)的计算值仅对距屏蔽格栅有一安全距离的安全空间内有效，安全距离应按下列公式计算，电子系统应仅安装在安全空间内。

当 SF≥10 时：

$$d_{s/2}=w\cdot SF/10 \tag{11-65}$$

当 SF<10 时：

$$d_{s/2}=w \tag{11-66}$$

式中 $d_{s/2}$——安全距离(m)。

6. LPZn+1 区内的磁场强度可按下式计算：

$$H_{n+1}=H_n/10^{SF/20} \tag{11-67}$$

式中 H_n——LPZn 区内的磁场强度(A/m)；

H_{n+1}——LPZn+1 区内的磁场强度(A/m)。

SF——LPZn+1 区屏蔽的屏蔽系数。

安全距离应按式 (11-59)或式(11-60)计算。

7. 当(11-67)中的 LPZn 区内的磁场强度为 LPZ1 区内的磁场强度时，LPZ1 区内的磁场强度按以下方法确定。

1)闪电击在 LPZ1 区附近的情况，应按本条第 1 款式(11-57)和式(11-58)确定。

2)闪电直接击在 LPZ1 区大空间屏蔽上的情况，应按本条第 4 款式(11-64)确定，但式中所确定的点距 LPZ1 区屏蔽顶的最短距离和距 LPZ1 区屏蔽壁的最短距离应按图 11-36 确定。

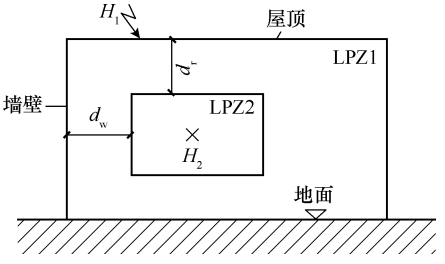


图 11-36 LPZ2 区内的磁场强度

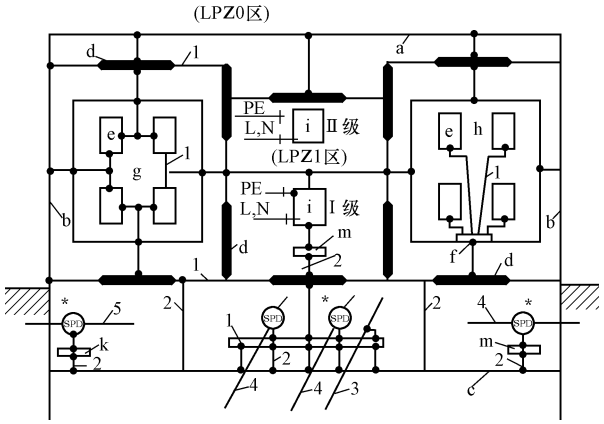
6.3.3 接地和等电位联结除应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)的有关规定外，还应符合下列规定：

1. 每幢建筑物本身应采用一个接地系统(见图 11-37)。

2. 当互相邻近的建筑物之间有电气和电子系统的线路连通时，宜将其接地装置互相连接，可通过接地线、PE 线、屏蔽层、穿线钢管、电缆沟的钢筋、金属管道等连接。

6.3.4 穿过各防雷区界面的金属物和建筑物内系统，以及在一个防雷区内部的金属物和建筑物内系统，均应在界面处附近做符合下列要求的等电位联结。

1. 所有进入建筑物的外来导电物均应在 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 区的界面处做等电位联结。当外来导电物、电气和电子系统的线路在不同地点进入建筑物时，宜设若干等电位联



a—防雷装置的接闪器以及可能是建筑物空间屏蔽的一部分;b—防雷装置的引下线以及可能是建筑物空间屏蔽的一部分;
c—防雷装置的接地装置(接地体网络、共用接地体网络)以及可能是建筑物空间屏蔽的一部分,如基础内钢筋和基础接地体;
d—内部导电物体,在建筑物内及其上不包括电气装置的金属装置,如电梯轨道,起重机,金属地面,金属门框架,
各种服务性设施的金属管道,金属电缆桥架,地面、墙和天花板的钢筋;
e—局部电子系统的金属组件;f—代表局部等电位联结带单点连接的接地基准点(ERP);
g—局部电子系统的网形等电位联结结构;h—局部电子系统的星形等电位联结结构;
i—固定安装有 PE 线的Ⅰ类设备和无 PE 线的Ⅱ类设备;
k—主要供电气系统等电位联结用的总接地带、总接地母线、总等电位联结带,也可用作共用等电位联结带;
l—主要供电子系统等电位联结用的环形等电位联结带、水平等电位联结导体,在特定情况下采用金属板,
也可用作共用等电位联结带。用接地线多次接到接地系统上做等电位联结,宜每隔 5m 连一次;m—局部等电位联结带;
1—等电位联结导体;2—接地线;3—服务性设施的金属管道;4—电子系统的线路或电缆;5—电气系统的线路或电缆;
*—进入 LPZ1 区处,用于管道、电气和电子系统的线路或电缆等外来服务性设施的等电位

图 11-37 接地、等电位联结和接地系统的构成

结带,并应将其就近连到环形接地体、内部环形导体或在电气上贯通并连通到接地体或基础接地体的钢筋上。环形接地体和内部环形导体应连到钢筋或金属立面等其他屏蔽构件上,宜每隔 5m 连接一次。

对各类防雷建筑物,各种连接导体和等电位联结带的截面不应小于《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 5.1.2 的规定。

当建筑物内有电子系统时,在已确定雷击电磁脉冲影响最小之处,等电位联结带宜采用金属板,并应与钢筋或其他屏蔽构件作多点连接。

2. 在 $LPZ0_A$ 与 LPZ1 区的界面处做等电位联结用的接线夹和电涌保护器,应采用《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 F.0.1-1 的雷电流参量估算通过的分流值。当无法估算时,可按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)公式(4.2.4-6)或(4.2.4-7)计算,计算中的雷电流应采用《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表 F.0.1-1 的雷电流。还应确定沿各种设施引入建筑物的雷电流。应采用向外分流或向内引入的雷电流的较大者。

在靠近地面于 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 区的界面处做等电位联结用的接线夹和电涌保护器,仅应确定闪电击中建筑物防雷装置时通过的雷电流;可不计及沿全长处在 $LPZ0_B$ 区的各种设施引入建筑物的雷电流,其值仅为感应电流和小部分雷电流。

3. 各后续防雷区界面处的等电位联结也应采用本条第 1 款的规定。

穿过防雷区界面的所有导电物、电气和电子系统的线路均应在界面处做等电位联结。宜采用一局部等电位联结带做等电位联结，各种屏蔽结构或设备外壳等其他局部金属物也连到局部等电位联结带。

用于等电位联结的接线夹和电涌保护器应分别估算通过的雷电流。

4. 所有电梯轨道、起重机、金属地板、金属门框架、设施管道、电缆桥架等大尺寸的内部导电物，其等电位联结应以最短路径连到最近的等电位联结带或其他已做了等电位联结的金属物或等电位联结网络，各导电物之间宜附加多次互相连接。

5. 电子系统的所有外露导电物应与建筑物的等电位联结网络做功能性等电位联结。电子系统不应设独立的接地装置。向电子系统供电的配电箱的保护地线（PE 线）应就近与建筑物的等电位联结网络做等电位联结。

一个电子系统的各种箱体、壳体、机架等金属组件与建筑物接地系统的等电位联结网络做功能性等电位联结应采用 S 型星形结构或 M 型网形结构（见图 11-38）。

当采用 S 型等电位联结时，电子系统的所有金属组件应与接地系统的各组件绝缘。

6. 当电子系统为 300kHz 以下的模拟线路时，可采用 S 型等电位联结，且所有设施管线和电缆宜从 ERP 处附近进入该电子系统。

S 型等电位联结应仅通过唯一的 ERP 点，形成 S_s 型连接方式（见图 11-38）。设备之间的所有线路和电缆当无屏蔽时，宜与成星形连接的等电位联结线平行敷设。用于限制从线路传导来的过电压的电涌保护器，其引线的连接点应使加到被保护设备上的电涌电压最小。

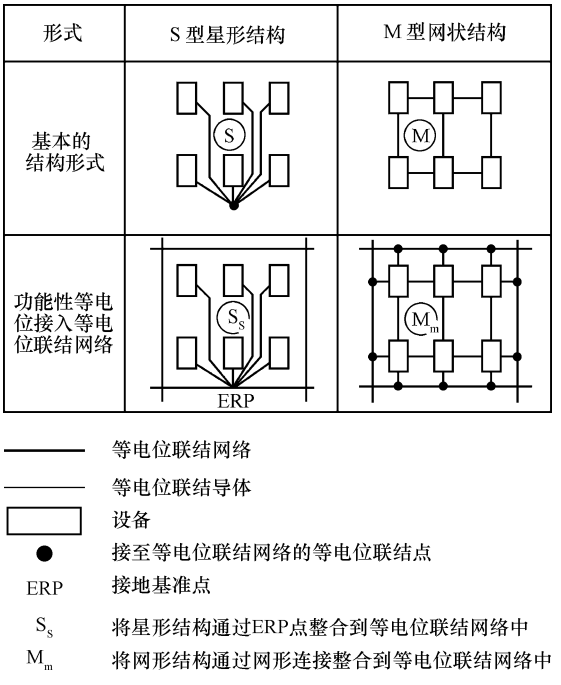


图 11-38 电子系统功能性等电位联结整合到等电位联结网络中

7. 当电子系统为兆赫级数字线路时，应采用 M 型等电位联结，系统的各金属组件不应与接地系统各组件绝缘。M 型等电位联结应通过多点连接组合到等电位联结网络中去，形成 M_m 型连接方式。每台设备的等电位联结线的长度不宜大于 0.5m，并宜设两根等电位联结线安装于设备的对角处，其长度相差宜为 20%。

11.4.1.5.4 安装和选择电涌保护器的要求

《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)

规范引用

6.4.1 复杂的电气和电子系统中,除在户外线路进入建筑物处,$LPZ0_A$或$LPZ0_B$进入LPZ1区,按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4章要求安装电涌保护器外,在其后的配电和信号线路上应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第6.4.4～6.4.8条确定是否选择和安装与其协调配合好的电涌保护器保护。

6.4.2 两栋定为LPZ1区的独立建筑物用电气线路或信号线路的屏蔽电缆或穿钢管的无屏蔽线路连接时,屏蔽层流过的分雷电流在其上所产生的电压降不应对线路和所接设备引起绝缘击穿,同时屏蔽层的截面应满足通流能力(见图11-39)。计算方法应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录H的规定。

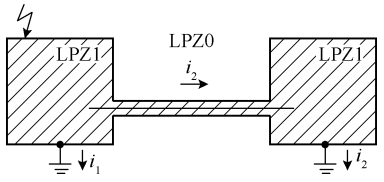


图11-39 用屏蔽电缆或穿钢管线路将两栋独立的LPZ 1区连接在一起

6.4.3 LPZ1区内两个LPZ2区之间用电气线路或信号线路的屏蔽电缆或屏蔽的电缆沟或穿钢管屏蔽的线路连接在一起,当有屏蔽的线路没有引出LPZ2区时,线路的两端可不安装电涌保护器(见图11-40)。

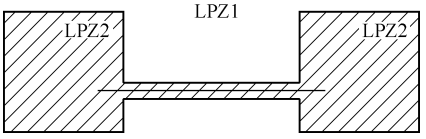


图11-40 用屏蔽的线路将两个LPZ2区连接在一起

6.4.4 需要保护的线路和设备的耐冲击电压,220/380V三相配电线路可按表11-34规定取值;其他线路和设备,包括电压和电流的抗扰度,宜按制造商提供的材料确定。

表11-34 建筑物内220/380V配电系统中设备绝缘耐冲击电压额定值

设备位置	电源处的设备	配电线路和最后分支线路的设备	用电设备	特殊需要保护的设备
耐冲击电压类别	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类
耐冲击电压额定值 UW/kV	6	4	2.5	1.5

注:①Ⅰ类——含有电子电路的设备,如计算机、有电子程序控制的设备;

②Ⅱ类——如家用电器和类似负荷;

③Ⅲ类——如配电盘,断路器,包括线路、母线、分线盒、开关、插座等固定装置的布线系统,以及应用于工业的设备和永久接至固定装置的固定安装的电动机等的一些其他设备;

④Ⅳ类——如电气计量仪表、一次线过流保护设备、滤波器。

6.4.5 电涌保护器安装位置和放电电流的选择,应符合下列规定:

1. 户外线路进入建筑物处,即$LPZ0_A$或$LPZ0_B$进入LPZ1区,所安装的电涌保护器应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第4章的规定确定。

2. 靠近需要保护的设备处，即 LPZ2 区和更高区的界面处，当需要安装电涌保护器时，对电气系统宜选用Ⅱ级或Ⅲ级试验的电涌保护器，对电子系统宜按具体情况确定，并应符合《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录 J 的规定，技术参数应按制造商提供的、在能量上与本条第 1 款所确定的配合好的电涌保护器选用，并应包含多组电涌保护器之间的最小距离要求。

3. 电涌保护器应与同一线路上游的电涌保护器在能量上配合，电涌保护器在能量上配合的资料应由制造商提供。若无此资料，Ⅱ级试验的电涌保护器，其标称放电电流不应小于 5kA；Ⅲ级试验的电涌保护器，其标称放电电流不应小于 3kA。

6.4.6 电涌保护器的有效电压保护水平应符合下列规定。

1. 对限压型电涌保护器：

$$U_{p/1}=U_p+\Delta U \tag{11-68}$$

2. 对电压开关型电涌保护器，应取下列公式中的较大者：

$$U_{p/f}=U_p \text{ 或 } U_{p/f}=\Delta U \tag{11-69}$$

式中 $U_{p/f}$——电涌保护器的有效电压保护水平(kV)；

U_p——电涌保护器的电压保护水平(kV)；

ΔU——电涌保护器两端引线的感应电压降，即 $L\times(\mathrm{d}i/\mathrm{d}t)$，户外线路进入建筑物处可按 1kV/m 计算，在其后的可按 $\Delta U=0.2U_p$ 计算，仅是感应电涌时可略去不计。

3. 为取得较小的电涌保护器有效电压保护水平，应选用有较小电压保护水平值的电涌保护器，并应采用合理的接线，同时应缩短连接电涌保护器的导体长度。

6.4.7 确定从户外沿线路引入雷击电涌时，电涌保护器的有效电压保护水平值的选取应符合下列规定：

1. 当被保护设备距电涌保护器的距离沿线路的长度小于或等于 5m 时，或在线路有屏蔽并两端等电位联结下沿线路的长度小于或等于 10m 时，应按下式计算：

$$U_{p/f}\leqslant U_w \tag{11-70}$$

式中 U_w——被保护设备的设备绝缘耐冲击电压额定值(kV)。

2. 当被保护设备距电涌保护器的距离，沿线路的长度大于 10m 时，应按下式计算：

$$U_{p/f}\leqslant \frac{U_w-U_i}{2} \tag{11-71}$$

式中 U_i——雷击建筑物附近，电涌保护器与被保护设备之间电路环路的感应过电压(kV)，按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)第 6.3.2 条和附录 G 计算。

3. 对本条第 2 款，当建筑物或房间有空间屏蔽和线路有屏蔽或仅线路有屏蔽并两端等电位联结时，可不计及电涌保护器与被保护设备之间电路环路的感应过电压，但应按下式计算。

$$U_{p/f}\leqslant \frac{U_w}{2} \tag{11-72}$$

4. 当被保护的电子设备或系统要求按现行国家标准《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验》(GB/T 17626.5—2008)确定的冲击电涌电压小于 U_w 时，式(11-70)～式(11-72)中的 U_w 应用前者代入。

6.4.8 用于电气系统的电涌保护器的最大持续运行电压值和接线形式，以及用于电子

系统的电涌保护器的最大持续运行电压值,应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)附录J的规定采用。连接电涌保护器的导体截面应按《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)表5.1.2的规定取值。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

11.9.1 建筑物防雷击电磁脉冲设计宜符合下列规定:

1. 电子信息系统是否需要防雷击电磁脉冲,应根据防雷区及设备要求进行损失评估及经济分析综合考虑,做到安全、适用、经济。

2. 对于未装设防雷装置的建筑物,当电子信息系统需防雷击电磁脉冲时,该建筑物宜按第三类防雷建筑物采取防雷措施,接闪器宜采用避雷带(网)。

3. 当工程设计阶段不明确电子信息系统的规模和具体设置且预计将设置电子信息系统时,应在设计时将建筑物金属构架、混凝土钢筋等自然构件、金属管道、电气的保护接地系统等与防雷装置连成共用接地系统,并应在适当地方预埋等电位联结板。

4. 建筑物内电子信息系统应根据所在地雷暴日、设备所在的防雷区及系统对雷击电磁脉冲的抗扰度,采取相应的屏蔽、接地、等电位联结及装设浪涌保护器等防护措施。

5. 建筑物内电子信息系统应根据所在地雷暴日、设备设置的防雷区,以及系统对雷击电脉冲的抗扰度采取相应的屏蔽、接地、等电位联结及装设电涌保护器等防护措施。

6. 根据电磁场强度的衰减情况,防雷区划分为$LPZ0_A$、$LPZ0_B$及LPZ1区。分区原则参见国标《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)的规定。

7. 建筑电子信息系统应根据信息系统所处环境因素、设备重要性及发生雷击事故后果的严重程度,将信息系统防雷击电磁脉冲划分为A、B、C、D四级,可按公式(11-73)确定或按表11-35选择:

$$E = 1 - N_c/N \tag{11-73}$$

式中 E——防雷装置的拦截效率;

N_c——直击雷和雷击电磁脉冲引起信息系统设备损坏的可接受的年平均雷击次数(次/a)。

N——建筑物年预计雷击次数(次/a)。

当$N \leqslant N_c$时,可不安装雷电防护装置;

当$N > N_c$时,应安装雷电防护装置;

当$E > 0.98$时,为A级;

当$0.95 < E \leqslant 0.98$时,为B级;

当$0.8 < E \leqslant 0.95$时,为C级;

当$E \leqslant 0.8$时,为D级。

1)按建筑物电子系统的重要性和使用性质确定的防护等级应符合表11-35的规定。

表11-35 雷击电磁脉冲防护等级

雷击电磁脉冲防护等级	设置电子信息系统的建筑物
A级	1. 大型计算中心、大型通信枢纽、国家金融中心、银行; 2. 甲级安全防范系统,如国家文物、档案馆、电视监控和报警系统; 3. 大型电子医疗设备、五星级宾馆

续表

雷击电磁脉冲防护等级	设置电子信息系统的建筑物
B级	1. 中型计算中心、中型通信枢纽、移动通信基站、大型体育场馆监控系统、证券中心； 2. 乙级安全防范系统，如省级文物、档案馆的闭路电视监控和报警系统； 3. 雷达站、微波站、高速公路监控和收费系统； 4. 中型电子医疗设备； 5. 四星级宾馆
C级	1. 小型通信枢纽、电信局； 2. 大中型有线电视系统； 3. 三星级以下宾馆
D级	除上述A、B、C级以外的电子信息设备

2)当采用上述两种方法确定的防护等级不相同时，宜按较高级别确定。

11.9.2 为减少雷击电磁脉冲的干扰，宜在建筑物和被保护房间的外部设屏蔽、合理选择敷设线路路径及线路屏蔽等措施，并应符合下列规定：

1. 建筑物金属屋顶、立面金属表面、钢柱、钢梁、混凝土内钢筋和金属门窗框架等大尺寸金属件，应作等电位联结并与防雷装置相连。

2. 在需要保护的空间内，当采用屏蔽电缆时，其屏蔽层应在两端及在防雷区交界处作等电位联结；当系统要求只在一端作等电位联结时，应采用两层屏蔽，外层屏蔽按前述要求处理。

3. 两个建筑物之间的非屏蔽电缆应敷设在金属导管内，导管两端应电气贯通，并应连接到各自建筑物的等电位联结带上。

4. 当建筑物或房间的大屏蔽空间由金属框架或钢筋混凝土的钢筋等自然构件组成时，穿入该屏蔽空间的各种金属管道及导电金属物应就近作等电位联结。

5. 每幢建筑物本身应采用共用接地网；当互相邻近的建筑物之间有电力和通信电缆连通时，宜将其接地网互相连接。

11.9.3 穿过各防雷区界面的金属物和系统，以及在一个防雷区内部的金属物和系统均应在界面处作等电位联结，并符合下列要求：

1. 所有进入建筑物的外来导电物均应在 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 的界面处作等电位联结；当外来导电物、电力线、通信线在不同地点进入建筑物时，宜分别设置等电位联结端子箱，并应将其就近连接到接地网。

2. 建筑物金属立面、钢筋等屏蔽构件宜每隔5m与环形接地体或内部环形导体连接一次。

3. 电子信息系统的各种箱体、壳体、机架等金属组件应与建筑物的共用接地网作等电位联结。

11.9.4 低压配电系统及电子信息系统信号传输线路在穿过各防雷区界面处，宜采用浪涌保护器(SPD)保护，并应符合下列规定：

1. 当上级浪涌保护器为开关型SPD，次级SPD采用限压型SPD时，两者之间的线路长度应大于10m。当上级与次级浪涌保护器均采用限压型SPD时，两者之间的线路长度应大于5m。除采用能量自动控制型组合SPD外，当上级与次级浪涌保护器之间的线路长度不能满足要求时，应加装退耦装置。

2. 浪涌保护器必须能承受预期通过的雷电流,并应符合下列要求:

1)浪涌保护器应能熄灭在雷电流通过后产生的工频续流;

2)浪涌保护器的最大钳压加上其两端引线的感应电压之和,应与其保护对象所属系统的基本绝缘水平和设备允许的最大浪涌电压相配合,并应小于被保护设备的耐冲击过电压值,不宜大于被保护设备耐冲击过电压额定值的80%。

当无法获得设备的耐冲击过电压时,220/380V三相配电系统设备的绝缘耐冲击过电压额定值可按表11-36选用。

表11-36 220/380V三相系统各种设备绝缘耐冲击过电压额定值

设备位置	电源处的设备	配电线路和最后分支线路的设备	用电设备	特殊需要保护的设备
耐冲击过电压类别	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类
耐冲击电压额定值/kV	6	4	2.5	1.5

注:①Ⅰ类——需要将瞬态过电压限制到特定水平的设备;

②Ⅱ类——如家用电器、手提工具和类似负荷;

③Ⅲ类——如配电盘、断路器,包括电缆、母线、分线盒、开关、插座等的布线系统,以及应用于永久至固定装置的固定安装的电动机等一些其他设备;

④Ⅳ类——如电气计量仪表、一次线过流保护设备、波纹控制设备。

3. 220/380V三相系统中的浪涌保护器的设置,应与接地形式及接线方式一致,且其最大持续运行电压U_0应符合下列规定:

1)TT系统中浪涌保护器安装在剩余电流保护器的负荷侧时,U_c不应小于$1.55U_0$;当浪涌保护器安装在剩余电流保护器的电源侧时,U_c不应小于$1.15U_0$。

2)TN系统中,U_c不应小于$1.15U_0$。

3)IT系统中,U_c不应小于$1.15U$(U为线间电压)。

注:U_0是低压系统相导体对中性导体的标称电压,在220/380V三相系统中,U_0=220V。

4. 配电线路用SPD应根据工程的防护等级和安装位置对SPD的标称导通电压、标称放电电流、冲击通流容量、限制电压、残压等参数进行选择。用于配电线路SPD最大放电电流参数,应符合表11-37的规定。

表11-37 配电线路SPD最大放电电流参数

防护等级	LPZ0与LPZ1交界处		后续防雷区交界处			直流电源标称放电电流/kA
	第一级标称放电电流/kA		第二级标称放电电流/kA	第三级标称放电电流/kA	第四级标称放电电流/kA	
	(10/350μs)	(8/20μs)	(8/20μs)	(8/20μs)	(8/20μs)	(8/20μs)
A级	≥20	≥80	≥40	≥20	≥10	≥10
B级	≥15	≥60	≥40	≥20	—	直流配电系统中根据线路长度和工作电压选用标称放电电流≥10kA适配的SPD
C级	≥12.5	≥50	≥20	—	—	
D级	≥12.5	≥50	≥10	—	—	

注:配电线路用SPD应具有SPD损坏告警、热容和过流保护、保险跳闸告警、遥信等功能;SPD的外封装材料应为阻燃材料。

5. 信息系统的信号传输线路SPD,应根据线路工作频率、传输介质、传输速率、工作电压、接口型式、阻抗特性等参数,选用电压驻波比和插入损耗小的适配的产品,并应符合

表 11-38和表 11-39 的规定。

6. 各种计算机网络数据线路上的 SPD,应根据被保护设备的工作电压、接口形式、特性阻抗、信号传输速率或工作频率等参数选用插入损耗低的适配的产品,并应符合表 11-38 和表 11-39 的规定。

表 11-38 信号线路 SPD 性能参数

参数要求 \ 缆线类型	非屏蔽双绞线	屏蔽双绞线	同轴电缆
标称导通电压	≥1.2U_n	≥1.2U_n	≥1.2U_n
测试波形	(1.2/50μs、8/20μs)混合波	(1.2/50μs、8/20μs)混合波	(1.2/50μs、8/20μs)混合波
标称放电电流/kA	≥1.0	≥0.5	≥3.0

注:U_n——额定工作电压。

表 11-39 信号线路、天馈线路 SPD 性能参数

名称	插入损耗 ≤/dB	电压驻波比≤	响应时间 ≤/ns	用于收发通信系统的 SPD 平均功率/kW	特性阻抗 /Ω	传输速率 /bps	工作频率 /MHz	接口型式
数值	0.5	1.3	10	≥1.5 倍系统平均功率	应满足系统要求	应满足系统要求	应满足系统要求	应满足系统要求

注:信号线用 SPD 应满足信号传输速率及带宽的需要,其接口应与被保护设备兼容。

7. 应在各防雷区界面处作等电位联结。当由于工艺要求或其他原因,被保护设备位置不在界面处,且线路能承受所发生的浪涌电压时,SPD 可安装在被保护设备处,线路的金属保护层或屏蔽层,宜在界面处作等电位联结。

8. SPD 安装线路上应有过电流保护器件,该器件应由 SPD 厂商配套,宜选用有劣化显示功能的 SPD。

9. 浪涌保护器连接导线应短而直,引线长度不宜超过 0.5m。

10. 建筑物电子信息系统机房内的电源严禁采用架空线路直接引入。

11.9.5 当电子信息系统设备由 TN 交流配电系统供电时,其配电线路必须采用 TN-S 系统的接地形式。

11.4.2 建筑物电子信息系统的设计要求

《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)

规范引用

5.1 一般规定

5.1.1 建筑物电子信息系统宜进行雷击风险评估并采取相应的防护措施。

5.1.2 需要保护的电子信息系统必须采取等电位联结与接地保护措施。

5.1.3 建筑物电子信息系统应根据需要保护的设备数量、类型、重要性、耐冲击电压额定值及所要求的电磁场环境等情况选择下列雷电电磁脉冲的防护措施:

1. 等电位联结和接地;

2. 电磁屏蔽;

3. 合理布线;

4. 能量配合的浪涌保护器防护。

5.1.4 新建工程的防雷设计应收集以下相关资料:

1. 建筑物所在地区的地形、地物状况、气象条件和地质条件;
2. 建筑物或建筑物群的长、宽、高度及位置分布,相邻建筑物的高度、接地等情况;
3. 建筑物内各楼层及楼顶需保护的电子信息系统设备的分布状况;
4. 配置于各楼层工作间或设备机房内需保护设备的类型、功能及性能参数;
5. 电子信息系统的网络结构;
6. 电源线路、信号线路进入建筑物的方式;
7. 供、配电情况及其配电系统接地方式等。

5.1.5 扩、改建工程除应具备上述资料外,还应收集下列相关资料:

1. 防直击雷接闪装置的现状;
2. 引下线的现状及其与电子信息系统设备接地引入线间的距离;
3. 高层建筑物防侧击雷的措施;
4. 电气竖井内线路敷设情况;
5. 电子信息系统设备的安装情况及耐受冲击电压水平;
6. 总等电位联结及各局部等电位联结状况,共用接地装置状况;
7. 电子信息系统的功能性接地导体与等电位联结网络互连情况;
8. 地下管线、隐蔽工程分布情况;
9. 曾经遭受过的雷击灾害的记录等资料。

5.2 等电位联结与共用接地系统设计

5.2.1 机房内电子信息设备应作等电位联结。等电位联结的结构形式应采用S型、M型或它们的组合(见图11-41)。电气和电子设备的金属外壳、机柜、机架、金属管、槽、屏蔽线缆金属外层、电子设备防静电接地、安全保护接地、功能性接地、浪涌保护器接地端等均应以最短的距离与S型结构的接地基准点或M型结构的网格连接。机房等电位联结网络应与共用接地系统连接。

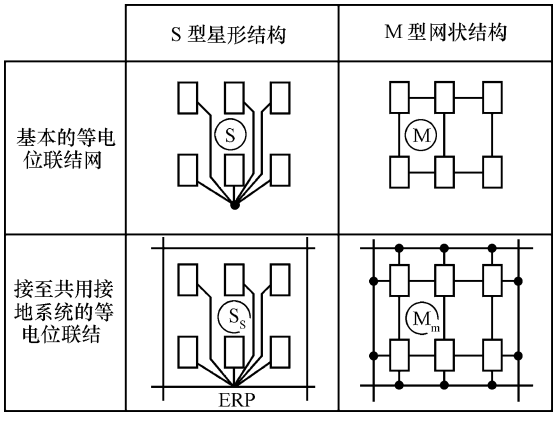


图11-41 电子信息系统等电位联结网络的基本方法

5.2.2 在 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 区与 LPZ1 区交界处应设置总等电位接地端子板，总等电位接地端子板与接地装置的连接不应少于两处；每层楼宜设置楼层等电位接地端子板；电子信息系统设备机房应设置局部等电位接地端子板。各类等电位接地端子板之间的连接导体宜采用多股铜芯导线或铜带。连接导体最小截面积应符合表 11-40 的规定。各类等电位接地端子板宜采用铜带，其导体最小截面积应符合表 11-41 的规定。

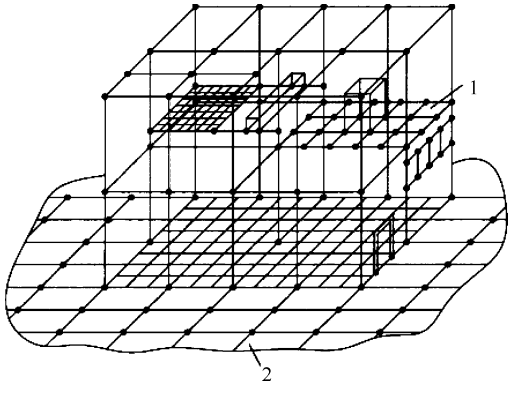
表 11-40 各类等电位联结导体最小截面积

名称	材料	最小截面积/mm^2
垂直接地干线	多股铜芯导线或铜带	50
楼层端子板与机房局部端子板之间的连接导体	多股铜芯导线或铜带	25
机房局部端子板之间的连接导体	多股铜芯导线	16
设备与机房等电位联结网络之间的连接导体	多股铜芯导线	6
机房网格	铜箔或多股铜芯导体	25

表 11-41 各类等电位接地端子板最小截面积

名称	材料	最小截面积/mm^2
总等电位接地端子板	铜带	150
楼层等电位接地端子板	铜带	100
机房局部等电位接地端子板(排)	铜带	50

5.2.3 等电位联结网络应利用建筑物内部或其上的金属部件多重互连，组成网格状低阻抗等电位联结网络，并与接地装置构成一个接地系统(见图 11-42)。电子信息设备机房的等电位联结网络可直接利用机房内墙结构柱主钢筋引出的预留接地端子接地。



1—等电位联结网络；2—接地装置

图 11-42 由等电位联结网络与接地装置组合构成的三维接地系统示例

5.2.4 某些特殊重要的建筑物电子信息系统可设专用垂直接地干线。垂直接地干线由总等电位接地端子板引出，同时与建筑物各层钢筋或均压带连通。各楼层设置的接地端子板应与垂直接地干线连接。垂直接地干线宜在竖井内敷设，通过连接导体引入设备机房

与机房局部等电位接地端子板连接。音、视频等专用设备工艺接地干线应通过专用等电位接地端子板独立引至设备机房。

5.2.5 防雷接地与交流工作接地、直流工作接地、安全保护接地共用一组接地装置时,接地装置的接地电阻值必须按接入设备中要求的最小值确定。

5.2.6 接地装置应优先利用建筑物的自然接地体,当自然接地体的接地电阻达不到要求时应增加人工接地体。

5.2.7 机房设备接地线不应从接闪带、铁塔、防雷引下线直接引入。

5.2.8 进入建筑物的金属管线(含金属管、电力线、信号线)应在入口处就近连接到等电位联结端子板上。在LPZ1入口处应分别设置适配的电源和信号浪涌保护器,使电子信息系统的带电导体实现等电位联结。

5.2.9 电子信息系统涉及多个相邻建筑物时,宜采用两根水平接地体将各建筑物的接地装置相互连通。

5.2.10 新建建筑物的电子信息系统在设计、施工时,宜在各楼层、机房内墙结构柱主钢筋处引出和预留等电位接地端子。

5.3 屏蔽及布线

5.3.1 为减小雷电电磁脉冲在电子信息系统内产生的浪涌,宜采用建筑物屏蔽、机房屏蔽、设备屏蔽、线缆屏蔽和线缆合理布设措施,这些措施应综合使用。

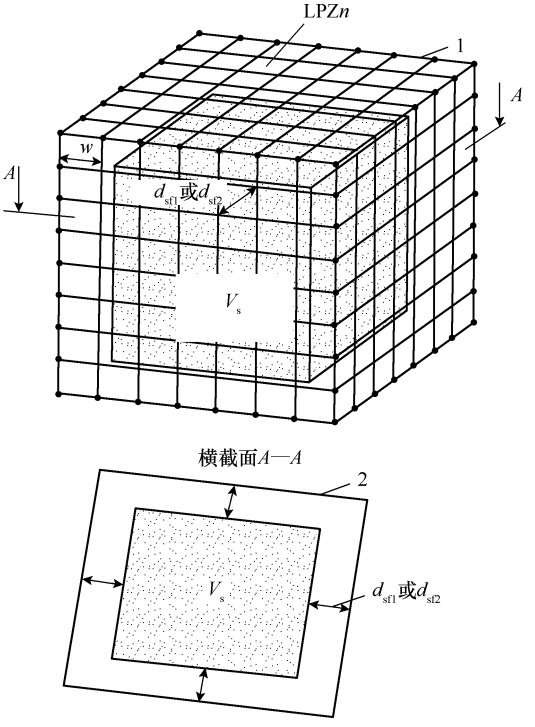
5.3.2 电子信息系统设备机房的屏蔽应符合下列规定:

1. 建筑物的屏蔽宜利用建筑物的金属框架、混凝土中的钢筋、金属墙面、金属屋顶等自然金属部件与防雷装置连接构成格栅型大空间屏蔽;

2. 当建筑物自然金属部件构成的大空间屏蔽不能满足机房内电子信息系统电磁环境要求时,应增加机房屏蔽措施;

3. 电子信息系统设备主机房宜选择在建筑物低层中心部位,其设备应配置在LPZ1区之后的后续防雷区内,并与相应的雷电防护区屏蔽体及结构柱留有一定的安全距离(见图11-43)。

4. 屏蔽效果及安全距离可按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录D规定的计算方法确定。



1—屏蔽网格;2—屏蔽体;V_s—安装电子信息系统的空间;$d_{s/1}$、$d_{s/2}$—空间Vs与LPZn的屏蔽体间应保持的安全距离;ω—空间屏蔽网格宽度

图11-43 LPZn内用于安装电子信息系统的空间

5.3.3 线缆屏蔽应符合下列规定:

1. 与电子信息系统连接的金属信号线缆采用屏蔽电缆时,应在屏蔽层两端并宜在雷电防护区交界处做等电位联结并接地。

当系统要求单端接地时,宜采用两层屏蔽或穿钢管敷设,外层屏蔽或钢管按前述要求处理。

2. 当户外采用非屏蔽电缆时，从人孔井或手孔井到机房的引入线应穿钢管埋地引入，埋地长度 l 可按公式(11-74)计算，但不宜小于 15m；电缆屏蔽槽或金属管道应在入户处进行等电位联结。

$$l \geqslant 2\sqrt{\rho} \tag{11-74}$$

式中 ρ——埋地电缆处的土壤电阻率(Ω·m)。

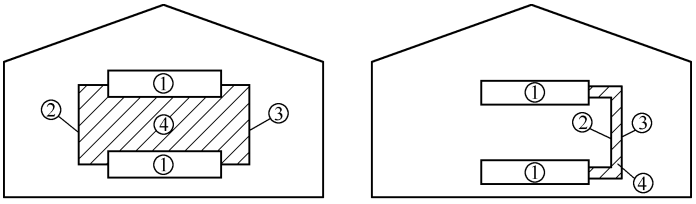
3. 当相邻建筑物的电子信息系统之间采用电缆互联时，宜采用屏蔽电缆，非屏蔽电缆应敷设在金属电缆管道内；屏蔽电缆屏蔽层两端或金属管道两端应分别连接到独立建筑物各自的等电位联结带上。采用屏蔽电缆互联时，电缆屏蔽层应能承载可预见的雷电流；

4. 光缆的所有金属接头、金属护层、金属挡潮层、金属加强芯等，应在进入建筑物处直接接地。

5.3.4 线缆敷设应符合下列规定：

1. 电子信息系统线缆宜敷设在金属线槽或金属管道内。电子信息系统线路宜靠近等电位联结网络的金属部件敷设，不宜贴近雷电防护区的屏蔽层。

2. 布置电子信息系统线缆路由走向时，应尽量减小由线缆自身形成的电磁感应环路面积(见图 11-44)。



(a) 不合理布线系统　　(b) 合理布线系统

①—设备；②—a 线(电源线)；③—b 线(信号线)；④—感应环路面积

图 11-44 合理布线减小感应环路面积

3. 电子信息系统线缆与其他管线的间距应符合表 1-42 的规定。

表 11-42 电子信息系统线缆与其他管线的间距

其他管线类别	电子信息系统线缆与其他管线的净距	
	最小平行净距/mm	最小交叉净距/mm
防雷引下线	1000	300
保护地线	50	20
给水管	150	20
压缩空气管	150	20
热力管(不包封)	500	500
热力管(包封)	300	300
燃气管	300	20

注：当线缆敷设高度超过 6000mm 时，与防雷引下线的交叉净距应大于或等于 $0.05H$(H 为交叉处防雷引下线距地面的高度)。

4. 电子信息系统信号电缆与电力电缆的间距应符合表 11-43 的规定。

表 11-43 电子信息系统信号电缆与电力电缆的间距

类别	与电子信息系统信号线缆接近状况	最小间距/mm
380V 电力电缆容量小于 2kV·A	与信号线缆平行敷设	130
	有一方在接地的金属线槽或钢管中	70
	双方都在接地的金属线槽或钢管中	10
380V 电力电缆容量(2～5)kV·A	与信号线缆平行敷设	300
	有一方在接地的金属线槽或钢管中	150
	双方都在接地的金属线槽或钢管中	80
380V 电力电缆容量大于 5kV·A	与信号线缆平行敷设	600
	有一方在接地的金属线槽或钢管中	300
	双方都在接地的金属线槽或钢管中	150

注:①当 380V 电力电缆的容量小于 2kV·A,双方都在接地的线槽中,且平行长度小于或等于 10m 时,最小间距可为 10mm。

②双方都在接地的线槽中,系指两个不同的线槽,也可在同一线槽中用金属板隔开。

5.4 浪涌保护器的选择

5.4.1 室外进、出电子信息系统机房的电源线路不宜采用架空线路。

5.4.2 电子信息系统设备由 TN 交流配电系统供电时,从建筑物内总配电柜(箱)开始引出的配电线路必须采用 TN-S 系统的接地型式。

5.4.3 电源线路浪涌保护器的选择应符合下列规定:

1. 配电系统中设备的耐冲击电压额定值 U_w 可按表 11-44 规定选用。

表 11-44 220/380V 三相配电系统中各种设备耐冲击电压额定值 U_w

设备位置	电源进线端设备	配电分支线路设备	用电设备	需要保护的电子信息设备
耐冲击电压类别	Ⅳ类	Ⅲ类	Ⅱ类	Ⅰ类
U_w(kV)	6	4	2.5	1.5

2. 浪涌保护器的最大持续工作电压 U_c 不应低于表 11-45 规定的值。

表 11-45 浪涌保护器的最小 U_c 值

浪涌保护器安装位置	配电网络的系统特征				
	TT 系统	TN-C 系统	TN-S 系统	引出中性线的 IT 系统	无中性线引出的 IT 系统
每一相线与中性线间	$1.15U_0$	不适用	$1.15U_0$	$1.15U_0$	不适用
每一相线与 PE 线间	$1.15U_0$	不适用	$1.15U_0$	$\sqrt{3}U_0^*$	线电压*
中性线与 PE 线间	$\sqrt{3}U_0^*$	不适用	$\sqrt{3}U_0^*$	$\sqrt{3}U_0^*$	不适用

续表

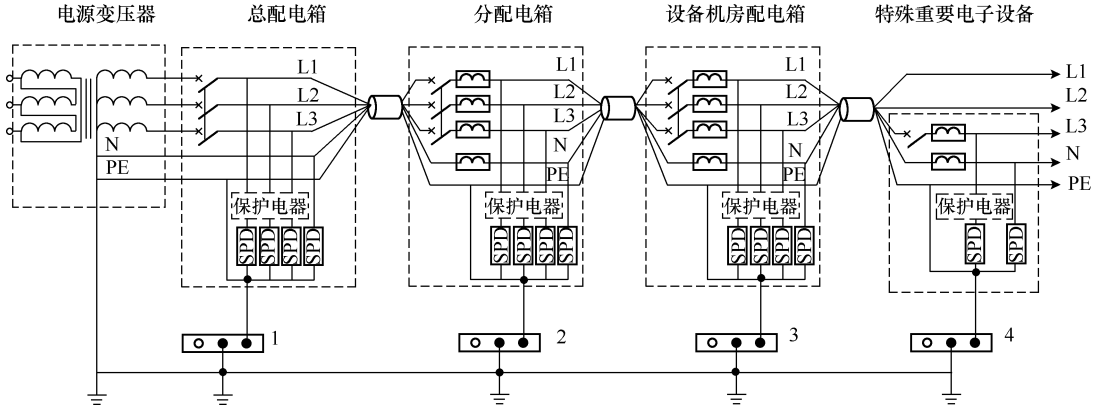
浪涌保护器安装位置	配电网络的系统特征				
	TT 系统	TN-C 系统	TN-S 系统	引出中性线的 IT 系统	无中性线引出的 IT 系统
每一相线与 PEN 线间	不适用	$1.15U_0$	不适用	不适用	不适用

注：①标有 * 的值是故障下最坏的情况，所以不需计及 15%的允许误差；

② U_0 是低压系统相线对中性线的标称电压，即相电压 220V；

③此表适用于符合现行国家标准《低压电涌保护器(SPD)第 1 部分：低压配电系统的电涌保护器　性能要求和试验方法》(GB18802.1—2011)的浪涌保护器产品。

3. 进入建筑物的交流供电线路，在线路的总配电箱等 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 区交界处，应设置Ⅰ类试验的浪涌保护器或Ⅱ类试验的浪涌保护器作为第一级保护；在配电线路分配电箱、电子设备机房配电箱等后续防护区交界处，可设置Ⅱ类或Ⅲ类试验的浪涌保护器作为后级保护；特殊重要的电子信息设备电源端口可安装Ⅱ类或Ⅲ类试验的浪涌保护器作为精细保护(见图 11-45)。使用直流电源的信息设备，视其工作电压要求，宜安装适配的直流电源线路浪涌保护器。



—空气断路器；SPD—浪涌保护器；—退耦器件；—等电位接地端子板；

1—总等电位接地端子板；2—楼层等电位接地端子板；3、4—局部等电位接地端子板

图 11-45　TN-S 系统的配电线路浪涌保护器安装位置示意图

4. 浪涌保护器设置级数应综合考虑保护距离、浪涌保护器连接导线长度、被保护设备耐冲击电压额定值 U_w 等因素。各级浪涌保护器应能承受在安装点上预计的放电电流，其有效保护水平 $U_{p/f}$ 应小于相应类别设备的 U_w。

5. LPZ0 和 LPZ1 界面处每条电源线路的浪涌保护器的冲击电流 I_{imp}，当采用非屏蔽线缆时按公式(11-75)估算确定；当采用屏蔽线缆时按公式(11-76)估算确定；当无法计算确定时，应取 I_{imp} 大于或等于 12.5kA。

$$I_{imp} = \frac{0.5I}{(n_1+n_2)m}(\text{kA}) \tag{11-75}$$

$$I_{imp} = \frac{0.5IR_s}{(n_1+n_2)\times(mR_s+R_c)}(\text{kA}) \tag{11-76}$$

式中　I——雷电流，按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录 C 确定

(kA)；

n_1——埋地金属管、电源及信号线缆的总数目；

n_2——架空金属管、电源及信号线缆的总数目；

m——每一线缆内导线的总数目；

R_s——屏蔽层每千米的电阻(Ω/km)；

R_c——芯线每千米的电阻(Ω/km)。

6. 当电压开关型浪涌保护器至限压型浪涌保护器之间的线路长度小于10m、限压型浪涌保护器之间的线路长度小于5m时，在两级浪涌保护器之间应加装退耦装置。当浪涌保护器具有能量自动配合功能时，浪涌保护器之间的线路长度不受限制。浪涌保护器应有过电流保护装置和劣化显示功能。

7. 按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第4.2节或第4.3节确定雷电防护等级时，用于电源线路的浪涌保护器的冲击电流和标称放电电流参数推荐值宜符合表11-46规定。

表11-46 电源线路浪涌保护器冲击电流和标称放电电流参数推荐值

雷电防护	总配电箱		分配电箱	设备机房配电箱和需要特殊保护的电子信息设备端口处	
	LPZ0与LPZ1边界		LPZ1与LPZ2边界	后续防护区的边界	
	10/350μs Ⅰ类试验	8/20μs Ⅱ类试验	8/20μs Ⅱ类试验	8/20μs Ⅱ类试验	1.2/50μs和8/20μs复合波Ⅲ类试验
	I_{imp}/kA	I_n/kA	I_n/kA	I_n/kA	U_{oc}/kV/I_{sc}/kA
A	≥20	≥80	≥40	≥5	≥10/≥5
B	≥15	≥60	≥30	≥5	≥10/≥5
C	≥12.5	≥50	≥20	≥3	≥6/≥3
D	≥12.5	≥50	≥10	≥3	≥6/≥3

注：SPD分级应根据保护距离、SPD连接导线长度、被保护设备耐冲击电压额定值U_w等因素确定。

8. 电源线路浪涌保护器在各个位置安装时，浪涌保护器的连接导线应短直，其总长度不宜大于0.5m。有效保护水平$U_{p/f}$应小于设备耐冲击电压额定值U_w(见图11-46)。

9. 电源线路浪涌保护器安装位置与被保护设备间的线路长度大于10m且有效保护水平大于$U_w/2$时，应按公式(11-77)和公式(11-78)估算振荡保护距离L_{po}；当建筑物位于多雷区或强雷区且没有线路屏蔽措施时，应按公式(11-79)和公式(11-80)估算感应保护距离L_{pi}。

$$L_{po} = (U_w - U_{P/f})/k(\mathrm{m}) \tag{11-77}$$

$$k = 25(\mathrm{V/m}) \tag{11-78}$$

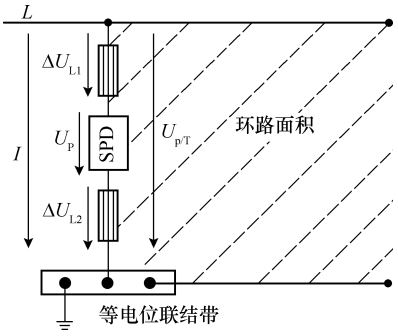
$$L_{pi} = (U_w - U_{p/f})/h(\mathrm{m}) \tag{11-79}$$

$$h = 30000 \times K_{s1} \times K_{s2} \times K_{s3}(\mathrm{V/m}) \tag{11-80}$$

式中 U_w——设备耐冲击电压额定值；

$U_{p/f}$——有效保护水平，即连接导线的感应电压降与浪涌保护器的U_p之和；

K_{s1}、K_{s2}、K_{s3}——《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录B第B.5.14条中给出的因子。



I—局部雷电流；$U_{p/f}=U_p+\Delta U$—有效保护水平；

U_p—SPD的电压保护水平；$\Delta U=\Delta U_{L1}+\Delta U_{L2}$—连接导线上的感应电压

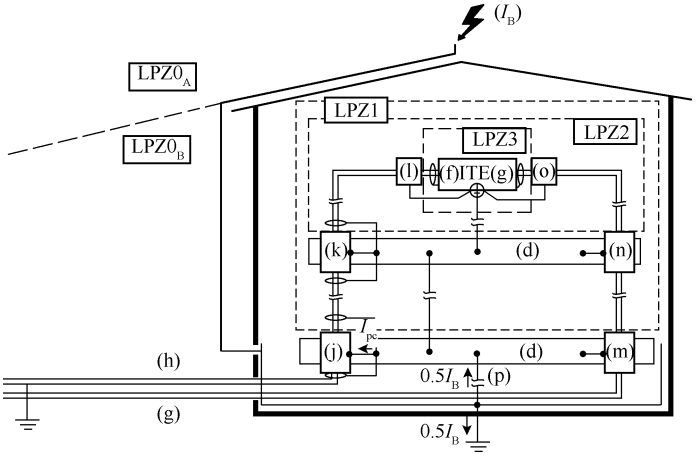
图 11-46 相线与等电位联结带之间的电压

10. 入户处第一级电源浪涌保护器与被保护设备间的线路长度大于 L_{po} 或 L_{pi} 值时，应在配电线路的分配电箱处或在被保护设备处增设浪涌保护器。当分配电箱处电源浪涌保护器与被保护设备间的线路长度大于 L_{po} 或 L_{pi} 值时，应在被保护设备处增设浪涌保护器。被保护的电子信息设备处增设浪涌保护器时，U_p 应小于设备耐冲击电压额定值 U_w，宜留有 20% 裕量。在一条线路上设置多级浪涌保护器时应考虑它们之间的能量协调配合。

5.4.4 信号线路浪涌保护器的选择应符合下列规定：

1. 电子信息系统信号线路浪涌保护器应根据线路的工作频率、传输速率、传输带宽、工作电压、接口型式和特性阻抗等参数，选择插入损耗小、分布电容小、并与纵向平衡、近端串扰指标适配的浪涌保护器。U_c 应大于线路上的最大工作电压 1.2 倍，U_p 应低于被保护设备的耐冲击电压额定值 U_w。

2. 电子信息系统信号线路浪涌保护器宜设置在雷电防护区界面处(见图 11-47)。根据雷电过电压、过电流幅值和设备端口耐冲击电压额定值，可设单级浪涌保护器，也可设能量配合的多级浪涌保护器。



(d)—雷电防护区边界的等电位联结端子板；(m、n、o)—符合Ⅰ、Ⅱ或Ⅲ类试验要求的电源浪涌保护器；

(f)—信号接口；(p)—接地线；(g)—电源接口；LPZ—雷电防护区；(h)—信号线路或网络；

I_{pc}—部分雷电流；(j、k、l)—不同防雷区边界的信号线路浪涌保护器；I_B—直击雷电流

图 11-47 信号线路浪涌保护器的设置

3. 信号线路浪涌保护器的参数宜符合表 11-47 的规定。

表 11-47 信号线路浪涌保护器的参数推荐值

雷电防护区		LPZ0/1	LPZ1/2	LPZ2/3
浪涌范围	10/350μs	0.5～2.5kA	—	—
	1.2/50μs、8/20μs	—	0.5～10kV 0.25～5kA	0.5～1kV 0.25～0.5kA
	10/700μs、5/300μs	4kV 100A	0.5～4kV 25～100A	—
浪涌保护器的要求	SPD(j)	D_1、B_2	—	—
	SPD(k)	—	C_2、B_2	—
	SPD(l)	—	—	C_1

注:①SPD(j、k、l)见《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)图 5.4.4;

②浪涌范围为最小的耐受要求,可能设备本身具备 LPZ2/3 栏标注的耐受能力;

③B_2、C_1、C_2、D_1等是《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)附录 E 规定的信号线路浪涌保护器冲击试验类型。

5.4.5 天馈线路浪涌保护器的选择应符合下列规定:

1. 天线应置于直击雷防护区($LPZ0_B$)内。

2. 应根据被保护设备的工作频率、平均输出功率、连接器形式及特性阻抗等参数选用插入损耗小、电压驻波比小、适配的天馈线路浪涌保护器。

3. 天馈线路浪涌保护器应安装在收/发通信设备的射频出、入端口处,其参数应符合表 11-48 规定。

表 11-48 天馈线路浪涌保护器的主要技术参数推荐表

工作频率/MHz	传输功率/W	电压驻波比	插入损耗/dB	接口方式	特性阻抗/Ω	U_c/V	I_{imp}/kA	U_p/V
1.5～6000	≥1.5 倍系统平均功率	≤1.3	≤0.3	应满足系统接口要求	50/75	大于线路上最大运行电压	≥2kA 或按用户要求确定	小于设备端口 U_w

4. 具有多副天线的天馈传输系统,每副天线应安装适配的天馈线路浪涌保护器。当天馈传输系统采用波导管传输时,波导管的金属外壁应与天线架、波导管支撑架及天线反射器电气连通,其接地端应就近接在等电位接地端子板上。

5. 天馈线路浪涌保护器接地端应采用能承载预期雷电流的多股绝缘铜导线连接到 $LPZ0_A$或 $LPZ0_B$与 LPZ1 边界处的等电位接地端子板上,导线截面积不应小于 $6mm^2$。同轴电缆的前、后端及进机房前应将金属屏蔽层就近接地。

5.5 电子信息系统的防雷与接地

5.5.1 通信接入网和电话交换系统的防雷与接地应符合下列规定:

1. 有线电话通信用户交换机设备金属芯信号线路,应根据总配线架所连接的中继线及用户线的接口形式选择适配的信号线路浪涌保护器;

2. 浪涌保护器的接地端应与配线架接地端相连,配线架的接地线应采用截面积不小于 $16mm^2$的多股铜线接至等电位接地端子板上;

3. 通信设备机柜、机房电源配电箱等的接地线应就近接至机房的局部等电位接地端子板上；

4. 引入建筑物的室外铜缆宜穿钢管敷设，钢管两端应接地。

5.5.2 信息网络系统的防雷与接地应符合下列规定：

1. 进、出建筑物的传输线路上，在 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 的边界处应设置适配的信号线路浪涌保护器。被保护设备的端口处宜设置适配的信号浪涌保护器。网络交换机、集线器、光电端机的配电箱内，应加装电源浪涌保护器。

2. 入户处浪涌保护器的接地线应就近接至等电位接地端子板；设备处信号浪涌保护器的接地线宜采用截面积不小于 $1.5mm^2$ 的多股绝缘铜导线连接到机架或机房等电位联结网络上。计算机网络的安全保护接地、信号工作地、屏蔽接地、防静电接地和浪涌保护器的接地等均应与局部等电位联结网络连接。

5.5.3 安全防范系统的防雷与接地应符合下列规定：

1. 置于户外摄像机的输出视频接口应设置视频信号线路浪涌保护器。摄像机控制信号线接口处(如 RS485、RS424 等)应设置信号线路浪涌保护器。解码箱处供电线路应设置电源线路浪涌保护器。

2. 主控机、分控机的信号控制线、通信线、各监控器的报警信号线，宜在线路进出建筑物 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 边界处设置适配的线路浪涌保护器。

3. 系统视频、控制信号线路及供电线路的浪涌保护器，应分别根据视频信号线路、解码控制信号线路及摄像机供电线路的性能参数来选择，信号浪涌保护器应满足设备传输速率、带宽要求，并与被保护设备接口兼容。

4. 系统的户外供电线路、视频信号线路、控制信号线路应有金属屏蔽层并穿钢管埋地敷设，屏蔽层及钢管两端应接地。视频信号线屏蔽层应单端接地，钢管应两端接地。信号线与供电线路应分开敷设。

5. 系统的接地宜采用共用接地系统。主机房宜设置等电位联结网络，系统接地干线宜采用多股铜芯绝缘导线，其截面积应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)表 5.2.2-1 的规定。

5.5.4 火灾自动报警及消防联动控制系统的防雷与接地应符合下列规定：

1. 火灾报警控制系统的报警主机、联动控制盘、火警广播、对讲通信等系统的信号传输线缆宜在线路进出建筑物 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 边界处设置适配的信号线路浪涌保护器。

2. 消防控制中心与本地区或城市“119”报警指挥中心之间联网的进出线路端口应装设适配的信号线路浪涌保护器。

3. 消防控制室内所有的机架(壳)、金属线槽、安全保护接地、浪涌保护器接地端均应就近接至等电位联结网络。

4. 区域报警控制器的金属机架(壳)、金属线槽(或钢管)、电气竖井内的接地干线、接线箱的保护接地端等，应就近接至等电位接地端子板。

5. 火灾自动报警及联动控制系统的接地应采用共用接地系统。接地干线应采用铜芯绝缘线，并宜穿管敷设接至本楼层或就近的等电位接地端子板。

5.5.5 建筑设备管理系统的防雷与接地应符合下列规定：

1. 系统的各种线路在建筑物 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 边界处应安装适配的浪涌保

护器。

2. 系统中央控制室宜在机柜附近设等电位联结网络。室内所有设备金属机架(壳)、金属线槽、保护接地和浪涌保护器的接地端等均应做等电位联结并接地。

3. 系统的接地应采用共用接地系统,其接地干线宜采用铜芯绝缘导线穿管敷设,并就近接至等电位接地端子板,其截面积应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)表 5.2.2-1 的规定。

5.5.6 有线电视系统的防雷与接地应符合下列规定:

1. 进、出有线电视系统前端机房的金属芯信号传输线宜在入、出口处安装适配的浪涌保护器。

2. 有线电视网络前端机房内应设置局部等电位接地端子板,并采用截面积不小于 $25mm^2$ 的铜芯导线与楼层接地端子板相连。机房内电子设备的金属外壳、线缆金属屏蔽层、浪涌保护器的接地以及 PE 线都应接至局部等电位接地端子板上。

3. 有线电视信号传输线路宜根据其干线放大器的工作频率范围、接口形式以及是否需要供电电源等要求,选用电压驻波比和插入损耗小的适配的浪涌保护器。地处多雷区、强雷区的用户端的终端放大器应设置浪涌保护器。

4. 有线电视信号传输网络的光缆、同轴电缆的承重钢绞线在建筑物入户处应进行等电位联结并接地。光缆内的金属加强芯及金属护层均应良好接地。

5.5.7 移动通信基站的防雷与接地应符合下列规定:

1. 移动通信基站的雷电防护宜进行雷电风险评估后采取防护措施。

2. 基站的天线应设置于直击雷防护区($LPZ0_B$)内。

3. 基站天馈线应从铁塔中心部位引下,同轴电缆在其上部、下部和经走线桥架进入机房前,屏蔽层应就近接地。当铁塔高度大于或等于 60m 时,同轴电缆金属屏蔽层还应在铁塔中间部位增加一处接地。

4. 机房天馈线入户处应设室外接地端子板作为馈线和走线桥架入户处的接地点,室外接地端子板应直接与地网连接。馈线入户下端接地点不应接在室内设备接地端子板上,亦不应接在铁塔一角上或接闪带上。

5. 当采用光缆传输信号时,应符合《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)第 5.3.3 条第 4 款的规定。

6. 移动基站的地网应由机房地网、铁塔地网和变压器地网相互连接组成。机房地网由机房建筑基础和周围环形接地体组成,环形接地体应与机房建筑物四角主钢筋焊接连通。

5.5.8 卫星通信系统防雷与接地应符合下列规定:

1. 在卫星通信系统的接地装置设计中,应将卫星天线基础接地体、电力变压器接地装置及站内各建筑物接地装置互相连通组成共用接地装置。

2. 设备通信和信号端口应设置浪涌保护器保护,并采用等电位联结和电磁屏蔽措施,必要时可改用光纤连接。站外引入的信号电缆屏蔽层应在入户处接地。

3. 卫星天线的波导管应在天线架和机房入口外侧接地。

4. 卫星天线伺服控制系统的控制线及电源线,应采用屏蔽电缆,屏蔽层应在天线处和机房入口外接地,并应设置适配的浪涌保护器保护。

5. 卫星通信天线应设置防直击雷的接闪装置,使天线处于 $LPZ0_B$ 防护区内。

6. 当卫星通信系统具有双向(收/发)通信功能且天线架设在高层建筑物的屋面时,天

线架应通过专引接地线(截面积大于或等于25mm²的绝缘铜芯导线)与卫星通信机房等电位接地端子板连接,不应与接闪器直接连接。

6. 防雷施工

6.1 一般规定

6.1.1 建筑物电子信息系统防雷工程施工应按《建筑物电子信息系统防雷技术规范》(GB 50343—2012)的规定和已批准的设计施工文件进行。

6.1.2 建筑物电子信息系统防雷工程中采用的器材应符合国家现行有关标准的规定,并应有合格证书。

6.1.3 防雷工程施工人员应持证上岗。

6.1.4 测试仪表、量具应鉴定合格,并在有效期内使用。

6.2 接地装置

6.2.1 人工接地体宜在建筑物四周散水坡外大于1m处埋设,在土壤中的埋设深度不应小于0.5m。冻土地带人工接地体应埋设在冻土层以下。水平接地体应挖沟埋设,钢质垂直接地体宜直接打入地沟内,其间距不宜小于其长度的2倍并均匀布置。铜质材料、石墨或其他非金属导电材料接地体宜挖坑埋设或参照生产厂家的安装要求埋设。

6.2.2 垂直接地体坑内、水平接地体沟内宜用低电阻率土壤回填并分层夯实。

6.2.3 接地装置宜采用热镀锌钢质材料。在高土壤电阻率地区,宜采用换土法、长效降阻剂法或其他新技术、新材料降低接地装置的接地电阻。

6.2.4 钢质接地体应采用焊接连接。其搭接长度应符合下列规定:

1. 扁钢与扁钢(角钢)搭接长度为扁钢宽度的2倍,不少于三面施焊。

2. 圆钢与圆钢搭接长度为圆钢直径的6倍,双面施焊。

3. 圆钢与扁钢搭接长度为圆钢直径的6倍,双面施焊。

4. 扁钢和圆钢与钢管、角钢互相焊接时,除应在接触部位双面施焊外,还应增加圆钢搭接件;圆钢搭接件在水平、垂直方向的焊接长度各为圆钢直径的6倍,双面施焊。

5. 焊接部位应除去焊渣后作防腐处理。

6.2.5 铜质接地装置应采用焊接或热熔焊,钢质和铜质接地装置之间连接应采用热熔焊,连接部位应作防腐处理。

6.2.6 接地装置连接应可靠,连接处不应松动、脱焊、接触不良。

6.2.7 接地装置施工结束后,接地电阻值必须符合设计要求,隐蔽工程部分应有随工检查验收合格的文字记录档案。

6.3 接地线

6.3.1 接地装置应在不同位置至少引出两根连接导体与室内总等电位接地端子板相连接。接地引出线与接地装置连接处应焊接或热熔焊。连接点应有防腐措施。

6.3.2 接地装置与室内总等电位接地端子板的连接导体截面积,铜质接地线不应小于50mm²,当采用扁铜时,厚度不应小于2mm;钢质接地线不应小于100mm²,当采用扁钢时,厚度不小于4mm。

6.3.3 等电位接地端子板之间应采用截面积符合表5.2.2-1要求的多股铜芯导线连接,等电位接地端子板与连接导线之间宜采用螺栓连接或压接。当有抗电磁干扰要求时,连接导线宜穿钢管敷设。

6.3.4 接地线采用螺栓连接时,应连接可靠,连接处应有防松动和防腐蚀措施。接地

线穿过有机械应力的地方时,应采取防机械损伤措施。

6.3.5 接地线与金属管道等自然接地体的连接应根据其工艺特点采用可靠的电气连接方法。

6.4 等电位接地端子板(等电位联结带)

6.4.1 在雷电防护区的界面处应安装等电位接地端子板,材料规格应符合设计要求,并应与接地装置连接。

6.4.2 钢筋混凝土建筑物宜在电子信息系统机房内预埋与房屋内墙结构柱主钢筋相连的等电位接地端子板,并宜符合下列规定:

1. 机房采用S型等电位联结时,宜使用不小于25mm×3mm的铜排作为单点连接的等电位接地基准点;

2. 机房采用M型等电位联结时,宜使用截面积不小于25mm^2的铜箔或多股铜芯导体在防静电活动地板下做成等电位接地网格。

6.4.3 砖木结构建筑物宜在其四周埋设环形接地装置。电子信息设备机房宜采用截面积不小于50mm^2的铜带安装局部等电位联结带,并采用截面积不小于25mm^2的绝缘铜芯导线穿管与环形接地装置相连。

6.4.4 等电位联结网格的连接宜采用焊接、熔接或压接。连接导体与等电位接地端子板之间应采用螺栓连接,连接处应进行热搪锡处理。

6.4.5 等电位联结导线应使用具有黄绿相间色标的铜质绝缘导线。

6.4.6 对于暗敷的等电位联结线及其连接处,应做隐蔽工程记录,并在竣工图上注明其实际部位、走向。

6.4.7 等电位联结带表面应无毛刺、明显伤痕、残余焊渣,安装平整、连接牢固,绝缘导线的绝缘层无老化龟裂现象。

6.5 浪涌保护器

6.5.1 电源线路浪涌保护器的安装应符合下列规定:

1. 电源线路的各级浪涌保护器应分别安装在线路进入建筑物的入口、防雷区的界面和靠近被保护设备处。各级浪涌保护器连接导线应短直,其长度不宜超过0.5m,并固定牢靠。浪涌保护器各接线端应在本级开关、熔断器的下桩头分别与配电箱内线路的同名端相线连接,浪涌保护器的接地端应以最短距离与所处防雷区的等电位接地端子板连接。配电箱的保护接地线(PE)应与等电位接地端子板直接连接。

2. 带有接线端子的电源线路浪涌保护器应采用压接;带有接线柱的浪涌保护器宜采用接线端子与接线柱连接。

3. 浪涌保护器的连接导线最小截面积宜符合表11-49的规定。

表11-49 浪涌保护器连接导线最小截面积

SPD级数	SPD的类型	导线截面积/mm^2	
		SPD连接相线铜导线	SPD接地端连接铜导线
第一级	开关型或限压型	6	10
第二级	限压型	4	6
第三级	限压型	2.5	4
第四级	限压型	2.5	4

注:组合型SPD参照相应级数的截面积选择。

6.5.2 天馈线路浪涌保护器的安装应符合下列规定：

1. 天馈线路浪涌保护器应安装在天馈线与被保护设备之间，宜安装在机房内设备附近或机架上，也可以直接安装在设备射频端口上；

2. 天馈线路浪涌保护器的接地端应采用截面积不小于 $6mm^2$ 的铜芯导线就近连接到 $LPZ0_A$ 或 $LPZ0_B$ 与 LPZ1 交界处的等电位接地端子板上，接地线应短直。

6.5.3 信号线路浪涌保护器的安装应符合下列规定：

1. 信号线路浪涌保护器应连接在被保护设备的信号端口上。

浪涌保护器可以安装在机柜内，也可以固定在设备机架或附近的支撑物上。

2. 信号线路浪涌保护器接地端宜采用截面积不小于 $1.5mm^2$ 的铜芯导线与设备机房等电位联结网络连接，接地线应短直。

6.6 线缆敷设

6.6.1 接地线在穿越墙壁、楼板和地坪处宜套钢管或其他非金属的保护套管，钢管应与接地线做电气连通。

6.6.2 线槽或线架上的线缆绑扎间距应均匀合理，绑扎线扣应整齐，松紧适宜；绑扎线头宜隐藏不外露。

6.6.3 接地线、浪涌保护器连接线的敷设宜短直、整齐。

6.6.4 接地线、浪涌保护器连接线转弯时弯角应大于 90°，弯曲半径应大于导线直径的 10 倍。

12 接　地

12.1 电气装置接地的一般规定

12.1.1 概述

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)



3.1.1　电力系统、装置或设备应按规定接地。接地装置应充分利用自然接地极接地，但应校验自然接地极的热稳定性。接地按功能可分为系统接地、保护接地、雷电保护接地和防静电接地。

3.1.2　发电厂和变电站内，不同用途和不同额定电压的电气装置或设备，除另有规定外应使用一个总的接地网。接地网的接地电阻应符合其中最小值的要求。

3.1.3　设计接地装置时，应计及土壤干燥或降雨和冻结等季节变化的影响，接地电阻、接触电位差和跨步电位差在四季中均应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)的要求。但雷电保护接地的接地电阻，可只采用在雷季中土壤干燥状态下的最大值。典型人工接地极的接地电阻可按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录A计算。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



12.1.2　用电设备的接地可分为保护性接地和功能性接地。

12.1.3　用电设备保护接地设计，根据工程特点和地质状况确定合理的系统方案。

12.1.4　不同电压等级用电设备的保护接地和功能接地，宜采用共用接地网；除有特殊要求外，电信及其他电子设备等非电力设备也可采用共用接地网。接地网的接地电阻应符合其中设备最小值的要求。

12.1.5　每个建筑物均应根据自身特点采取相应的等电位联结。

12.1.2 一般规定

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

4.2.2 确定发电厂和变电站接地网的型式和布置时,应符合下列要求:

1.110kV及以上有效接地系统和6～35kV低电阻接地系统发生单相接地或同点两相接地时,发电厂和变电站接地网的接触电位差和跨步电位差不应超过由下列公式计算所得的数值:

$$U_t = \frac{174 + 0.17\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} \tag{12-1}$$

$$U_s = \frac{174 + 0.7\rho_s C_s}{\sqrt{t_s}} \tag{12-2}$$

式中 U_t——接触电位差允许值(V);

U_s——跨步电位差允许值(V);

ρ_s——地表层的电阻率(Ω·m);

C_s——表层衰减系数,按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录C的规定确定;

t_s——接地故障电流持续时间,与接地装置热稳定校验的接地故障等效持续时间 t_e 取相同值(s)。

2.6～66kV不接地、谐振接地和高电阻接地的系统,发生单相接地故障后,当不迅速切除故障时,发电厂和变电站接地装置的接触电位差和跨步电位差不应超过下列公式计算所得的数值:

$$U_t = 50 + 0.05\rho_s C_s \tag{12-3}$$

$$U_t = 50 + 0.2\rho_s C_s \tag{12-4}$$

3. 接触电位差和跨步电位差可按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录D的规定计算。

12.2 电气装置保护接地的范围

12.2.1 保护接地的范围

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

3.2.1 电力系统、装置或设备的下列部分(给定点)应接地:

1. 有效接地系统中部分变压器的中性点和有效接地系统中部分变压器、谐振接地、谐振－低电阻接地、低电阻接地以及高电阻接地系统的中性点所接设备的接地端子;

2. 高压并联电抗器中性点接地电抗器的接地端子;

3. 电机、变压器和高压电器等的底座和外壳;

4. 发电机中性点柜的外壳、发电机出线柜、封闭母线的外壳和变压器、开关柜等(配套)的金属母线槽等;

5. 气体绝缘金属封闭开关设备的接地端子;

6. 配电、控制和保护用的屏(柜、箱)等的金属框架;

7. 箱式变电站和环网柜的金属箱体等;

8. 发电厂、变电站电缆沟和电缆隧道内,以及地上各种电缆金属支架等;

9. 屋内外配电装置的金属架构和钢筋混凝土架构,以及靠近带电部分的金属围栏和金属门;

10. 电力电缆接线盒、终端盒的外壳,电力电缆的金属护套或屏蔽层,穿线的钢管和电缆桥架等;

11. 装有地线的架空线路杆塔;

12. 除沥青地面的居民区外,其他居民区内,不接地、谐振接地、谐振,低电阻接地和高电阻接地系统中无地线架空线路的金属杆塔和钢筋混凝土杆塔;

13. 装在配电线路杆塔上的开关设备、电容器等电气装置;

14. 高压电气装置传动装置;

15. 附属于高压电气装置的互感器的二次绕组和铠装控制电缆的外皮。

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

12.3.1 除另有规定外,下列电气装置的外露可导电部分均应接地:

1. 电机、电器、手持式及移动式电器;

2. 配电设备、配电屏与控制屏的框架;

3. 室内、外配电装置的金属构架、钢筋混凝土构架的钢筋及靠近带电部分的金属围栏等;

4. 电缆的金属外皮和电力电缆的金属保护导管、接线盒及终端盒;

5. 建筑电气设备的基础金属构架;

6. Ⅰ类照明灯具的金属外壳。

12.3.2 对于在使用过程中产生静电并对正常工作造成影响的场所,宜采取防静电接地措施。

12.3.3 除另有规定外,下列电气装置的外露可导电部分可不接地:

1. 干燥场所的交流额定电压 50V 及以下和直流额定电压 110V 及以下的电气装置;

2. 安装在配电屏、控制屏已接地的金属框架上的电气测量仪表、继电器和其他低压电器,安装在已接地的金属框架上的设备;

3. 当发生绝缘损坏时不会危及人身安全的绝缘子底座。

12.3.5 当采用金属接线盒、金属导管保护或金属灯具时,交流 220V 照明配电装置的线路,宜加穿 1 根 PE 保护接地绝缘导线。

12.2.2 可不接地的范围

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

3.2.2 附属于高压电气装置和电力生产设施的二次设备等的下列金属部分可不接地：

1. 在木质、沥青等不良导电地面的干燥房间内，交流标称电压 380V 及以下、直流标称电压 220V 及以下的电气装置外壳，但当维护人员可能同时触及电气装置外壳和接地物件时除外；

2. 安装在配电屏、控制屏和配电装置上的电测量仪表、继电器和其他低压电器等的外壳，以及当发生绝缘损坏时在支持物上不会引起危险电压的绝缘子金属底座等；

3. 安装在已接地的金属架构上，且保证电气接触良好的设备；

4. 标称电压 220V 及以下的蓄电池室内的支架；

5. 除《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 4.3.3 条所列的场所外，由发电厂和变电站区域内引出的铁路轨道。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

12.3.4 下列部分严禁保护接地：

1. 采用设置绝缘场所保护方式的所有电气设备外露可导电部分及外界可导电部分；

2. 采用不接地的局部等电位联结保护方式的所有电气设备外露可导电部分及外界可导电部分；

3. 采用电气隔离保护方式的电气设备外露可导电部分及外界可导电部分；

4. 在采用双重绝缘及加强绝缘保护方式中的绝缘外护物里面的可导电部分。

12.3 电气装置的接地装置设计要求

12.3.1 一般要求

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

4.1 110 kV 及以上发电厂和变电站接地网设计的一般要求

4.1.1 设计人员应掌握工程地点的地形地貌、土壤的种类和分层状况，并应实测或收集站址土壤及江、河、湖泊等的水的电阻率、地质电测部门提供的地层－土壤电阻率分布资料和关于土壤腐蚀性能的数据，应充分了解站址处较大范围土壤的不均匀程度。

4.1.2 设计人员应根据有关建筑物的布置、结构、钢筋配置情况，确定可利用作为接地网的自然接地极。

4.1.3 设计人员应根据当前和远景的最大运行方式下一次系统电气接线、母线连接的送电线路状况、故障时系统的电抗与电阻比值等，确定设计水平年的最大接地故障不对称电流有效值。

4.1.4 设计人员应计算确定流过设备外壳接地导体(线)和经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值。

4.1.5 接地网的尺寸及结构应根据站址土壤结构和其电阻率，以及要求的接地网的接地电阻值初步拟定，并宜通过数值计算获得接地网的接地电阻值和地电位升高，且将其与要求的限值比较，并通过修正接地网设计使其满足要求。

4.1.6 设计人员应通过计算获得地表面的接触电位差和跨步电位差分布，并应将最大

接触电位差和最大跨步电位差与允许值加以比较。不满足要求时,应采取降低措施或采取提高允许值的措施。

4.1.7 接地导体(线)和接地极的材质和相应的截面,应计及设计使用年限内土壤对其的腐蚀,通过热稳定校验确定。

4.1.8 设计人员应根据实测结果校验设计。当不满足要求时,应补充与完善或增加防护措施。

12.3.2 接地电阻

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

规范引用

4.2.1 保护接地要求的发电厂和变电站接地网的接地电阻,应符合下列要求。

1. 有效接地系统和低电阻接地系统,应符合下列要求:

1)接地网的接地电阻宜符合下式的要求,且保护接地接至变电站接地网的站用变压器的低压应采用 TN 系统,低压电气装置应采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统:

$$R \leqslant 2000 I_G$$

式中 R——考虑季节变化的最大接地电阻(Ω);

I_G——计算用经接地网入地的最大接地故障不对称电流有效值(A)。

应采用设计水平年系统最大运行方式下在接地网内、外发生接地故障时,经接地网流入地中、并计及直流分量的最大接地故障电流有效值。对其计算时,还应计算系统中各接地中性点间的故障电流分配,以及避雷线中分走的接地故障电流。

2)当接地网的接地电阻不符合上式的要求时,可通过技术经济比较适当增大接地电阻。在符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 4.3.3 条的规定时,接地网地电位升高可提高至 5kV。必要时,经专门计算,且采取的措施可确保人身和设备安全可靠时,接地网地电位升高还可进一步提高。

2. 不接地、谐振接地、谐振,低电阻接地和电阻接地系统,应符合下列要求:

1)接地网的接地电阻应符合下式的要求,但不应大于 4Ω,且保护接地接至变电站接地网的站用变压器的低压侧电气装置,应采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统:

$$R \leqslant \frac{120}{I_g}$$

式中 R——采用季节变化的最大接地电阻(Ω);

I_g——计算用的接地网入地对称电流(A)。

2)谐振接地和谐振—低电阻接地系统中,计算发电厂和变电站接地网的入地对称电流时,对于装有自动跟踪补偿消弧装置(含非自动调节的消弧线圈)的发电厂和变电站电气装置的接地网,计算电流等于接在同一接地网中同一系统各自动跟踪补偿消弧装置额定电流总和的 1.25 倍;对于不装自动跟踪补偿消弧装置的发电厂和变电站电气装置的接地网,计算电流等于系统中断开最大一套自动跟踪补偿消弧装置或系统中最长线路被切除时的最大可能残余电流值。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

12.4.1　交流电气装置的接地应符合下列规定：

1. 当配电变压器高压侧工作于小电阻接地系统时，保护接地网的接地电阻应符合下式要求：

$$R \leqslant 2000/I \tag{12-5}$$

式中　R——考虑到季节变化的最大接地电阻(Ω)；

I——计算用的流经接地网的入地短路电流(A)。

2. 当配电变压器高压侧工作于不接地系统时，电气装置的接地电阻应符合下列要求：

1)高压与低压电气装置共用的接地网的接地电阻应符合下式要求，且不宜超过4Ω：

$$R \leqslant 120/I \tag{12-6}$$

2)仅用于高压电气装置的接地网的接地电阻应符合下式要求，且不宜超过10Ω：

$$R \leqslant 250/I \tag{12-7}$$

式中　R——考虑到季节变化的最大接地电阻(Ω)；

I——计算用的接地故障电流(A)。

3. 在中性点经消弧线圈接地的电力网中，当接地网的接地电阻按《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)公式(12-6)、(12-7)计算时，接地故障电流应按下列规定取值：

1)对装有消弧线圈的变电所或电气装置的接地网，其计算电流应为接在同一接地网中同一电力网各消弧线圈额定电流总和的1.25倍；

2)对不装消弧线圈的变电所或电气装置，计算电流应为电力网中断开最大一台消弧线圈时最大可能残余电流，并不得小于30A。

4. 在高土壤电阻率地区，当接地网的接地电阻达到上述规定值，技术经济不合理时，电气装置的接地电阻可提高到30Ω，变电所接地网的接地电阻可提高到15Ω，但应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第12.6.1条的要求。

12.4.2　低压系统中，配电变压器中性点的接地电阻不宜超过4Ω。高土壤电阻率地区，当达到上述接地电阻值困难时，可采用网格式接地网，但应满足《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第12.6.1条的要求。

12.4.3　配电装置的接地电阻应符合下列规定：

1. 当向建筑物供电的配电变压器安装在该建筑物外时，应符合下列规定：

1)对于配电变压器高压侧工作于不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统，当该变压器的保护接地接地网的接地电阻符合公式(12-8)要求且不超过4Ω时，低压系统电源接地点可与该变压器保护接地共用接地网。电气装置的接地电阻应符合下式要求：

$$R \leqslant 50/I \tag{12-8}$$

式中　R——考虑到季节变化时接地网的最大接地电阻(Ω)；

I——单相接地故障电流；消弧线圈接地系统为故障点残余电流(A)。

2)低压电缆和架空线路在引入建筑物处，对于TN-S或TN-C-S系统，保护导体(PE)或保护接地中性导体(PEN)应重复接地，接地电阻不宜超过10Ω；

对于TT系统，保护导体(PE)单独接地，接地电阻不宜超过4Ω；

3)向低压系统供电的配电变压器的高压侧工作于小电阻接地系统时，低压系统不得与电源配电变压器的保护接地共用接地网，低压系统电源接地点应在距该配电变压器适当的地点设置专用接地网，其接地电阻不宜超过4Ω。

2. 向建筑物供电的配电变压器安装在该建筑物内时，应符合下列规定：

1)对于配电变压器高压侧工作于不接地、消弧线圈接地和高电阻接地系统,当该变压器保护接地的接地网的接地电阻不大于4Ω时,低压系统电源接地点可与该变压器保护接地共用接地网;

2)配电变压器高压侧工作于小电阻接地系统,当该变压器的保护接地网的接地电阻符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)公式(12-5)的要求且建筑物内采用总等电位联结时,低压系统电源接地点可与该变压器保护接地共用接地网。

12.4.4 保护配电变压器的避雷器,应与变压器保护接地共用接地网。

12.4.5 保护配电柱上的断路器、负荷开关和电容器组等的避雷器,其接地导体应与设备外壳相连,接地电阻不应大于10Ω。

12.4.6 TT系统中,当系统接地点和电气装置外露可导电部分已进行总等电位联结时,电气装置外露可导电部分可不另设接地网;当未进行总等电位联结时,电气装置外露可导电部分应设保护接地的接地网,其接地电阻应符合下式要求。

$$R \leqslant 50/I_a \tag{12-9}$$

式中 R——考虑到季节变化时接地网的最大接地电阻(Ω);

I_a——保证保护电器切断故障回路的动作电流(A)。

当采用剩余动作电流保护器时,接地电阻应符合下式要求:

$$R \leqslant 25/I_{\Delta n} \tag{12-10}$$

式中 $I_{\Delta n}$——剩余动作电流保护器动作电流(mA)。

12.4.7 IT系统的各电气装置外露可导电部分的保护接地可共用接地网,亦可单个地或成组地用单独的接地网接地。每个接地网的接地电阻应符合下式要求:

$$R \leqslant 50/I_d \tag{12-11}$$

式中 R——考虑到季节变化时接地网的最大接地电阻(Ω);

I_d——相导体和外露可导电部分间第一次短路故障故障电流(A)。

12.4.8 建筑物各电气系统的接地宜用同一接地网。接地网的接地电阻应符合其中最小值的要求。

12.4.9 架空线和电缆线路的接地应符合下列规定:

1. 在低压TN系统中,架空线路干线和分支线的终端的PEN导体或PE导体应重复接地。电缆线路和架空线路在每个建筑物的进线处,宜按《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第12.2.2条的规定作重复接地。在装有剩余电流动作保护器后的PEN导体不允许设重复接地。除电源中性点外,中性导体(N)不应重复接地。

低压线路每处重复接地网的接地电阻不应大于10Ω。在电气设备的接地电阻允许达到10Ω的电力网中,每处重复接地的接地电阻值不应超过30Ω,且重复接地不应少于3处。

2. 在非沥青地面的居民区内,10(6)kV高压架空配电线路的钢筋混凝土电杆宜接地,金属杆塔应接地,接地电阻不宜超过30Ω。对于电源中性点直接接地系统的低压架空线路和高低压共杆的线路除出线端装有剩余电流动作保护器者除外,其钢筋混凝土电杆的铁横担或铁杆应与PEN导体连接,钢筋混凝土电杆的钢筋宜与PEN导体连接。

3. 穿金属导管敷设的电力电缆的两端金属外皮均应接地,变电所内电力电缆金属外皮可利用主接地网接地。当采用全塑料电缆时,宜沿电缆沟敷设1～2根两端接地的接地导体。

12.3.3 接地网的设计

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)



4.3.1 发电厂和变电站水平接地网应符合下列要求：

1)水平接地网应利用直接埋入地中或水中的自然接地极，发电厂和变电站接地网除应利用自然接地极外，还应敷设人工接地极。

2)当利用自然接地极和引外接地装置时，应采用不少于两根导线在不同地点与水平接地网相连接。

3)发电厂(不含水力发电厂)和变电站的接地网，应与110kV及以上架空线路的地线直接相连，并应有便于分开的连接点。6～66kV架空线路的地线不得直接和发电厂和变电站配电装置架构相连。发电厂和变电站接地网应在地下与架空线路地线的接地装置相连接，连接线埋在地中的长度不应小于15m。

4)在高土壤电阻率地区，可采取下列降低接地电阻的措施：

在发电厂和变电站2000m以内有较低电阻率的土壤时，敷设引外接地极；当地下较深处的土壤电阻率较低时，可采用井式、深钻式接地极或采用爆破式接地技术；填充电阻率较低的物质或降阻剂，但应确保填充材料不会加速接地极的腐蚀和其自身的热稳定；敷设水下接地网。水力发电厂可在水库、上游围堰、施工导流隧洞、尾水渠、下游河道或附近的水源中的最低水位以下区域敷设人工接地极。

5)在永冻土地区可采用下列措施：

将接地网敷设在溶化地带或溶化地带的水池或水坑中；可敷设深钻式接地极，或充分利用井管或其他深埋在地下的金属构件作接地极，还应敷设深垂直接地极，其深度应保证深入冻土层下面的土壤至少5m；在房屋溶化盘内敷设接地网；在接地极周围人工处理土壤，降低冻结温度和土壤电阻率。

6)在季节冻土或季节干旱地区可采用下列措施：

季节冻土层或季节干旱形成的高电阻率层的厚度较浅时，可将接地网埋在高电阻率层下0.2m；已采用多根深钻式接地极降低接地电阻时，可将水平接地网正常埋设；季节性的高电阻率层厚度较深时，可将水平接地网正常埋设，在接地网周围及内部接地极交叉节点布置短垂直接地极，其长度宜深入季节高电阻率层下面2m。

4.3.2 发电厂和变电站接地网除应利用自然接地极外，应敷设以水平接地极为主的人工接地网，并应符合下列要求：

1)人工接地网的外缘应闭合，外缘各角应做成圆弧形，圆弧的半径不宜小于均压带间距的1/2，接地网内应敷设水平均压带，接地网的埋设深度不宜小于0.8m。

2)接地网均压带可采用等间距或不等间距布置。

3)35kV及以上变电站接地网边缘经常有人出入的走道处，应铺设沥青路面或在地下装设两条与接地网相连的均压带。在现场有操作需要的设备处，应铺设沥青、绝缘水泥或鹅卵石。

4)6kV和10kV变电站和配电站，当采用建筑物的基础作接地极，且接地电阻满足规定值时，可不另设人工接地。

4.3.3 有效接地和低电阻接地系统中，发电厂和变电站接地网在发生接地故障后地电

位升高超过2000V时,接地网及有关电气装置应符合下列要求:

1)保护接地接至变电站接地网的站用变压器的低压侧,应采用TN系统,且低压电气装置应采用(含建筑物钢筋的)保护等电位联结接地系统。

2)应采用扁铜(或铜绞线)与二次电缆屏蔽层并联敷设。扁铜应至少在两端就近与接地网连接。当接地网为钢材时,还应防止铜、钢连接产生腐蚀。扁铜较长时,应多点与接地网连接。二次电缆屏蔽层两端应就近与扁铜连接。扁铜的截面应满足热稳定的要求。

3)应评估计入短路电流非周期分量的接地网电位升高条件下,发电厂、变电站内6kV或10kV金属氧化物避雷器吸收能量的安全性。

4)可能将接地网的高电位引向厂、站外或将低电位引向厂、站内的设备,应采取下列防止转移电位引起危害的隔离措施:

站用变压器向厂、站外低压电气装置供电时,其0.4kV绕组的短时(1min)交流耐受电压应比厂、站接地网地电位升高大40%。向厂、站外供电用低压线路采用架空线,其电源中性点不在厂、站内接地,改在厂、站外适当的地方接地;对外的非光纤通信设备加隔离变压器;通向厂、站外的管道采用绝缘段;铁路轨道分别在两处加绝缘鱼尾板等。

设计接地网时,应验算接触电位差和跨步电位差,并应通过实测加以验证。

4.3.4 人工接地极,水平敷设时可采用圆钢、扁钢;垂直敷设时可采用角钢或钢管。腐蚀较重地区采用铜或铜覆钢材时,水平敷设的人工接地极可采用圆铜、扁铜、铜绞线、铜覆钢绞线、铜覆圆钢或铜覆扁钢;垂直敷设的人工接地极可采用圆铜或铜覆圆钢等。

接地网采用钢材时,按机械强度要求的钢接地材料的最小尺寸,应符合表12-1的要求。接地网采用铜或铜覆钢材时,按机械强度要求的铜或铜覆钢材料的最小尺寸,应符合表12-2的要求。

表12-1 钢接地材料的最小尺寸

种类	规格及单位	地上	地下
圆钢	直径/mm	8	8/10
扁钢	截面/mm^2	48	48
	厚度/mm	4	4
角钢	厚度/mm	2.5	4
钢管	管壁厚度/mm	2.5	3.5/2.5

注:①地下部分圆钢的直径,其分子、分母数据分别对应于架空线路和发电厂、变电站的接地网;

②地下部分钢管的壁厚,其分子、分母数据分别对应于埋于土壤和埋于室内混凝土地坪中;

③架空线路杆塔的接地极引出线,其截面不应小于50mm^2,并应热镀锌。

表12-2 铜或铜覆钢接地材料的最小尺寸

种类	规格及单位	地上	地下
钢棒	直径/mm	8	水平接地极为8
			垂直接地极为15

续表

种类	规格及单位	地上	地下
扁铜	截面/mm²	50	50
	厚度/mm	2	2
铜绞线	截面/mm²	50	50
铜覆圆钢	直径/mm	8	10
铜覆钢绞线	直径/mm	8	10
铜覆扁钢	截面/mm²	48	48
	厚度/mm	4	4

注：①铜绞线单股直径小于 1.7mm；

②各类铜覆钢材的尺寸为钢材的尺寸，铜层厚度不应小于 0.25mm。

4.3.5 发电厂和变电站接地装置的热稳定校验，应符合下列要求：

1)在有效接地系统及低电阻接地系统中，发电厂和变电站电气装置中电气装置接地导体(线)的截面，应按接地故障(短路)电流进行热稳定校验。接地导体(线)的最大允许温度和接地导体(线)截面的热稳定校验，应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录 E 的规定。

2)校验不接地、谐振接地和高电阻接地系统中，电气装置接地导体(线)在单相接地故障时的热稳定，敷设在地上的接地导体(线)长时间温度不应高于 150℃，敷设在地下的接地导体(线)长时间温度不应高于 100℃。

3)接地装置接地极的截面，不宜小于连接至该接地装置的接地导体(线)截面的 75%。

4.3.6 接地网的防腐蚀设计，应符合下列要求：

1)计及腐蚀影响后，接地装置的设计使用年限，应与地面工程的设计使用年限一致。

2)接地装置的防腐蚀设计，宜按当地的腐蚀数据进行。

3)接地网可采用钢材，但应采用热镀锌，镀锌层应有一定的厚度。接地导体(线)与接地极或接地极之间的焊接点，应涂防腐材料。

4)腐蚀较重地区的 330kV 及以上发电厂和变电站、全户内变电站、220kV 及以上枢纽变电站、66kV 及以上城市变电站、紧凑型变电站，以及腐蚀严重地区的 110kV 发电厂和变电站，通过技术经济比较后，接地网可采用铜材、铜覆钢材或其他防腐蚀措施。

4.3.7 发电厂和变电站电气装置的接地导体(线)，应符合下列要求：

1)发电厂和变电站电气装置中，下列部位应采用专门敷设的接地导体(线)接地：

①发电机机座或外壳，出线柜、中性点柜的金属底座和外壳，封闭母线的外壳；

②110kV 及以上钢筋混凝土构件支座上电气装置的金属外壳；

③箱式变电站和环网柜的金属箱体；

④直接接地的变压器中性点；

⑤变压器、发电机和高压并联电抗器中性点所接自动跟踪补偿消弧装置提供感性电流的部分、接地电抗器、电阻器或变压器等的接地端子；

⑥气体绝缘金属封闭开关设备的接地母线、接地端子；

⑦避雷器、避雷针和地线等的接地端子。

2)当不要求采用专门敷设的接地导体(线)接地时，应符合下列要求：

①电气装置的接地导体(线)宜利用金属构件、普通钢筋混凝土构件的钢筋、穿线的钢管和电缆的铅、铝外皮等,但不得使用蛇皮管、保温管的金属网或外皮,以及低压照明网络的导线铅皮作接地导体(线);

②操作、测量和信号用低压电气装置的接地导体(线)可利用永久性金属管道,但可燃液体、可燃或爆炸性气体的金属管道除外;

③用本款所列材料作接地导体(线)时,应保证其全长为完好的电气通路,当利用串联的金属构件作为接地导体(线)时,金属构件之间应以截面不小于100mm²的钢材焊接。

3)接地导体(线)应便于检查,但暗敷的穿线钢管和地下的金属构件除外。潮湿的或有腐蚀性蒸汽的房间内,接地导体(线)离墙不应小于10mm;

4)接地导体(线)应采取防止发生机械损伤和化学腐蚀的措施;

5)在接地导体(线)引进建筑物的入口处应设置标志,明敷的接地导体(线)表面应涂15～100mm宽度相等的绿色和黄色相间的条纹;

6)发电厂和变电站电气装置中电气装置接地导体(线)的连接,应符合下列要求:

①采用铜或铜覆钢材的接地导体(线)应采用放热焊接方式连接。钢接地导体(线)使用搭接焊接方式时,其搭接长度应为扁钢宽度的2倍或圆钢直径的6倍;

②当利用钢管作接地导体(线)时,钢管连接处应保证有可靠的电气连接。当利用穿线的钢管作接地导体(线)时,引向电气装置的钢管与电气装置之间,应有可靠的电气连接;

③接地导体(线)与管道等伸长接地极的连接处,宜焊接。连接地点应选在近处,在管道因检修而可能断开时,接地装置的接地电阻应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)的要求。管道上表计和阀门等处,均应装设跨接线;

④采用铜或铜覆钢材的接地导体(线)与接地极的连接,应采用放热焊接;接地导体(线)与电气装置的连接,可采用螺栓连接或焊接。螺栓连接时的允许温度为250℃,连接处接地导体(线)应适当加入截面,且应设置防松螺帽或防松垫片;

⑤电气装置每个接地部分应以单独的接地导体(线)与接地母线相连接,严禁在一个接地导体(线)中串接几个需要接地的部分;

⑥接地导体(线)与接地极的连接,接地导体(线)与接地极均为铜(包含铜覆钢材)或其中一个为铜时,应采用放热焊接工艺,被连接的导体应完全包在接头里,连接部位的金属应完全熔化,并应连接牢固。放热焊接接头的表面应平滑,应无贯穿性的气孔。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

12.5.1 接地极的选择与设置应符合下列规定:

1. 在满足热稳定条件下,交流电气装置的接地极应利用自然接地导体。当利用自然接地导体时,应确保接地网的可靠性,禁止利用可燃液体或气体管道、供暖管道及自来水管道作保护接地极。

2. 人工接地极可采用水平敷设的圆钢、扁钢,垂直敷设的角钢、钢管、圆钢,也可采用金属接地板。宜优先采用水平敷设方式的接地极。

按防腐蚀和机械强度要求,对于埋入土壤中的人工接地极的最小尺寸不应小于表12-3的规定。

表 12-3 人工接地极最小尺寸 (mm)

材料及形状	最小尺寸			
	直径/mm	截面积/mm^2	厚度/nm	镀层厚度/μm
热镀锌扁钢	—	90	3	63
热浸锌角钢	—	90	3	63
热镀锌深埋钢棒接地极	16	—	—	63
热镀锌钢管	25	—	2	47
带状裸铜	—	50	2	—
裸铜管	20	—	2	—

注:表中所列钢材尺寸也适用于敷设在混凝土中。

当与防雷接地网合用时,应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 11 章的有关规定。

3. 接地系统的防腐蚀设计应符合下列要求:

1)接地系统的设计使用年限宜与地面工程的设计使用年限一致;

2)接地系统的防腐蚀设计宜按当地的腐蚀数据进行;

3)敷设在电缆沟的接地导体和敷设在屋面或地面上的接地导体,宜采用热镀锌,对埋入地下的接地极宜采取适合当地条件的防腐蚀措施。接地导体与接地极或接地极之间的焊接点,应涂防腐材料。在腐蚀性较强的场所,应适当加大截面。

12.5.2 在地下禁止采用裸铝导体作接地极或接地导体。

12.5.3 固定式电气装置的接地导体与保护导体应符合下列规定:

1. 交流接地网的接地导体与保护导体的截面应符合热稳定要求。当保护导体按《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)表 7.4.5-2 选择截面时,可不对其进行热稳定校核。在任何情况下埋入土壤中的接地导体的最小截面均不得小于表 12-4 的规定。

表 12-4 埋入土壤中的接地导体最小截面 (mm^2)

有无防腐蚀保护		有防机械损伤保护	无防机械损伤保护
有防腐蚀保护	铜	2.5	16
	钢	10	16
无防腐蚀保护	铜	25	
	钢	50	

2. 保护导体宜采用与相导体相同的材料,也可采用电缆金属外皮、配线用的钢导管或金属线槽等金属导体。

当采用电缆金属外皮、配线用的钢导管及金属线槽作保护导体时,其电气特性应保证不受机械的、化学的或电化学的损害和侵蚀,其导电性能应满足《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)表 7.4.5-2 的规定。

3. 不得使用可挠金属电线套管、保温管的金属外皮或金属网作接地导体和保护导体。在电气装置需要接地的房间内,可导电的金属部分应通过保护导体进行接地。

12.5.4 包括配线用的钢导管及金属线槽在内的外界可导电部分,严禁用作 PEN 导体。PEN 导体必须与相导体具有相同的绝缘水平。

12.5.5 接地网的连接与敷设应符合下列规定：

1. 对于需进行保护接地的用电设备，应采用单独的保护导体与保护干线相连或用单独的接地导体与接地极相连；

2. 当利用电梯轨道作接地干线时，应将其连成封闭的回路；

3. 变压器直接接地或经过消弧线圈接地、柴油发电机的中性点与接地极或接地干线连接时，应采用单独接地导体。

12.5.6 水平或竖直井道内的接地与保护干线应符合下列要求：

1. 电缆井道内的接地干线可选用镀锌扁钢或铜排。

2. 电缆井道内的接地干线截面应按下列要求之一进行确定：

1)宜满足最大的预期故障电流及热稳定；

2)宜根据井道内最大相导体，并按《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)表 7.4.5-2 的规定选择导体的截面。

3. 电缆井道内的接地干线可兼作等电位联结干线。

4. 高层建筑竖向电缆井道内的接地干线，应不大于 20m 与相近楼板钢筋作等电位联结。

12.5.7 接地极与接地导体、接地导体与接地导体的连接宜采用焊接，当采用搭接时，其搭接长度不应小于扁钢宽度的 2 倍或圆钢直径的 6 倍。

12.3.4 具有气体绝缘金属封闭开关设备变电站的接地

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

4.4.1 具有气体绝缘金属封闭开关设备的变电站，应设置一个总接地网。其接地电阻的要求应符合 12.3 节一、(2)的规定。

4.4.2 气体绝缘金属封闭开关设备区域应设置专用接地网，并应成为变电站总接地网的一个组成部分。该设备区域专用接地网，应由该设备制造厂设计，并应具有下列功能：

1. 应能防止故障时人触摸该设备的金属外壳遭到电击；

2. 释放分相式设备外壳的感应电流；

3. 快速流散开关设备操作引起的快速瞬态电流。

4.4.3 气体绝缘金属封闭开关设备外部近区故障人触摸其金属外壳时，区域专用接地网应保证触及者手—脚间的接触电位差符合下式的要求：

$$\sqrt{U_{\mathrm{tmax}}^2+(U'_{\mathrm{tomax}})^2}<U_{\mathrm{t}} \tag{12-12}$$

式中 U_{tmax}^2——设备区域专用接地网最大接触电位差，由人脚下的点决定；

U'_{tomax}——设备外壳上、外壳之间或外壳与任何水平/垂直支架之间金属到金属因感应产生的最大电压差；

U_{t}——接触电位差容许值。

4.4.4 位于居民区的全室内或地下气体绝缘金属封闭开关设备变电站，应校核接地网边缘、围墙或公共道路处的跨步电位差。变电站所在地区土壤电阻率较高时，紧靠围墙外的人行道路宜采用沥青路面。

4.4.5 气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网与变电站总接地网的连接线，不应

少于4根。连接线截面的热稳定校验应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第4.3.5条的要求。4根连接线截面的热稳定校验电流,应按单相接地故障时最大不对称电流有效值的35%取值。

4.4.6 气体绝缘金属封闭开关设备的接地导体(线)及其连接,应符合下列要求:

1. 互相共箱式或分相式设备的金属外壳与其基座上接地母线的连接方式,应按制造厂要求执行。其采用的连接方式,应确保无故障时所有金属外壳运行在地电位水平。当在指定点接地时,应确保母线各段外壳之间电压差在允许范围内;

2. 设备基座上的接地母线应按制造厂要求与该区域专用接地网连接;

3. 本条第1款和第2款连接线的截面,应满足设备接地故障(短路)时热稳定的要求。

4.4.7 当气体绝缘金属封闭开关设备置于建筑物内时,建筑物地基内的钢筋应与人工敷设的接地网相连接。建筑物立柱、钢筋混凝土地板内的钢筋等与建筑物地基内的钢筋,应相互连接,并应良好焊接。室内还应设置环形接地母线,室内各种需接地的设备(包括前述各种钢筋)均应连接至环形接地母线。环形接地母线还应与气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网相连接。

4.4.8 气体绝缘金属封闭开关设备与电力电缆或与变压器/电抗器直接相连时,电力电缆护层或气体绝缘金属封闭开关设备与变压器/电抗器之间套管的变压器/电抗器侧,应通过接地导体(线)以最短路径接到接地母线或气体绝缘金属封闭开关设备区域专用接地网。气体绝缘金属封闭开关设备外壳和电缆护套之间,以及其外壳和变压器/电抗器套管之间的隔离(绝缘)元件,应安装相应的隔离保护器。

4.4.9 气体绝缘金属封闭开关设备置于建筑物内时,设备区域专用接地网可采用钢导体。置于户外时,设备区域专用接地网宜采用铜导体。主接地网也宜采用铜或铜覆钢材。

12.3.5 雷电保护和防静电的接地

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

规范引用

4.5.1 发电厂和变电站雷电保护的接地,应符合下列要求:

1. 发电厂和变电站配电装置构架上避雷针(含悬挂避雷线的架构)的接地引下线应与接地网连接,并应在连接处加装集中接地装置。引下线与接地网的连接点至变压器接地导体(线)与接地网连接点之间沿接地极的长度,不应小于15m;

2. 主厂房装设直击雷保护装置或为保护其他设备而在主厂房上装设避雷针时,应采取加强分流、设备的接地点远离避雷针接地引下线的入地点、避雷针接地引下线远离电气装置等防止反击的措施。避雷针的接地引下线应与主接地网连接,并应在连接处加装集中接地装置;

主控制室、配电装置室和35kV及以下变电站的屋顶上装设直击雷保护装置,且为金属屋顶或屋顶上有金属结构时,应将金属部分接地:屋顶为钢筋混凝土结构时,应将其焊接成网接地;结构为非导电的屋顶时,则应采用避雷带保护,该避雷带的网格应为8～10m,并应每隔10～20m设接地引下线。该接地引下线应与主接地网连接,并应在连接处加装集中接地装置;

3. 发电厂和变电站有爆炸危险且爆炸后可能波及发电厂和变电站内主设备或严重影响发供电的建构筑物,应采用独立避雷针保护,并应采取防止雷电感应的措施。露天贮罐周

围应设置闭合环形接地装置,接地电阻不应超过30Ω,无独立避雷针保护的露天贮罐不应超过10 Ω,接地点不应小于两处,接地点间距不应大于30m。架空管道每隔20～25m应接地一次,接地电阻不应超过30Ω。易燃油贮罐的呼吸阀、易燃油和天然气贮罐的热工测量装置,应用金属导体与相应贮罐的接地装置连接。不能保持良好电气接触的阀门、法兰、弯头等管道连接处应跨接;

4. 发电厂和变电站避雷器的接地导体(线)应与接地网连接,且应在连接处设置集中接地装置。

4.5.2 发电厂易燃油、可燃油、天然气和氢气等贮罐、装卸油台、铁路轨道、管道、鹤管、套筒及油槽车等防静电接地的接地位置,接地导体(线)、接地极布置方式等,应符合下列要求:

1. 铁路轨道、管道及金属桥台,应在其始端、末端、分支处,以及每隔50m处设防静电接地,鹤管应在两端接地;

2. 厂区内的铁路轨道应在两处用绝缘装置与外部轨道隔离,两处绝缘装置间的距离应大于一列火车的长度;

3. 净距小于100mm的平行或交叉管道,应每隔20m用金属线跨接;

4. 不能保持良好电气接触的阀门、法兰、弯头等管道连接处,也应跨接,跨接线可采用直径不小于8mm的圆钢;

5. 油槽车应设置防静电临时接地卡;

6. 易燃油、可燃油和天然气浮动式贮罐顶,应用可挠的跨接线与罐体相连,且不应少于两处。跨接线可用截面不小于25mm^2的钢绞线、扁铜、铜绞线或覆铜扁钢、覆铜钢绞线;

7. 浮动式电气测量的铠装电缆应埋入地中,长度不宜小于50m;

8. 金属罐罐体钢板的接缝、罐顶与罐体之间,以及所有管、阀与罐体之间,应保证可靠的电气连接。

12.3.6 高压架空线路和电缆线路的接地

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

规范引用

5.1 高压架空线路的接地

5.1.1 6kV及以上无地线线路钢筋混凝土杆宜接地,金属杆塔应接地,接地电阻不宜超过30Ω。

5.1.2 除多雷区外,沥青路面上的架空线路的钢筋混凝土杆塔和金属杆塔,以及有运行经验的地区,可不另设人工接地装置。

5.1.3 有地线的线路杆塔的工频接地电阻,不宜超过表12-5的规定。

表12-5 有地线的线路杆塔的工频接地电阻

土壤电阻率 ρ(Ω·m)	$\rho\leqslant100$	$100<\rho\leqslant500$	$500<\rho\leqslant1000$	$1000<\rho\leqslant2000$	$\rho>2000$
接地电阻/Ω	10	15	20	25	30

5.1.4 66kV及以上钢筋混凝土杆铁横担和钢筋混凝土横担线路的地线支架、导线横担与绝缘子固定部分或瓷横担固定部分之间,宜有可靠的电气连接,并应与接地引下线相

连。主杆非预应力钢筋上下已用绑扎或焊接连成电气通路时，可兼作接地引下线。

利用钢筋兼作接地引下线的钢筋混凝土电杆时，其钢筋与接地螺母、铁横担间应有可靠的电气连接。

5.1.5 高压架空线路杆塔的接地装置，可采用下列型式：

1. 在土壤电阻率 $\rho<100\Omega\cdot m$ 的潮湿地区，可利用铁塔和钢筋混凝土杆自然接地。发电厂和变电站的进线段，应另设雷电保护接地装置。在居民区，当自然接地电阻符合要求时，可不设人工接地装置；

2. 在土壤电阻率 $100\Omega\cdot m<\rho\leqslant300\Omega\cdot m$ 的地区，除应利用铁塔和钢筋混凝土杆的自然接地外，还应增设人工接地装置，接地极埋设深度不宜小于 0.6m；

3. 在土壤电阻率 $300\Omega\cdot m<\rho\leqslant2000\Omega\cdot m$ 的地区，可采用水平敷设的接地装置，接地极埋设深度不宜小于 0.5m；

4. 在土壤电阻率 $\rho>2000\Omega\cdot m$ 的地区，接地电阻很难降到 30Ω 以下时，可采用 6～8 根总长度不超过 500m 的放射形接地极或采用连续伸长接地极。放射形接地极可采用长短结合的方式。接地极埋设深度不宜小于 0.3m。接地电阻可不受限制；

5. 居民区和水田中的接地装置，宜围绕杆塔基础敷设成闭合环形；

6. 放射形接地极每根的最大长度应符合表 12-6 的规定；

表 12-6 放射形接地极每根的最大长度

土壤电阻率 $\rho(\Omega\cdot m)$	$\rho\leqslant500$	$500<\rho\leqslant1000$	$1000<\rho\leqslant2000$	$2000<\rho\leqslant5000$
接地电阻/Ω	40	60	80	100

7. 在高土壤电阻率地区应采用放射形接地装置，且在杆塔基础的放射形接地极每根长度的 1.5 倍范围内有土壤电阻率较低的地带时，可部分采用引外接地或其他措施。

5.1.6 计算雷电保护接地装置所采用的土壤电阻率时，应取雷季中最大值，并应按下式计算：

$$\rho=\rho_0\varphi \tag{12-13}$$

式中 ρ——土壤电阻率，土壤和水的电阻率可按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录 J 的规定取值(Ω·m)；

ρ_0——雷季中无雨水时所测得的土壤电阻率(Ω·m)；

φ——土壤干燥时的季节系数，应按表 12-7 的规定取值。

表 12-7 土壤干燥时的季节系数

埋深/m	φ 值	
	水平接地极	2～3m 的垂直接地极
0.5	1.4～1.8	1.2～1.4
0.8～1.0	1.25～1.45	1.15～1.3
2.5～3.0	1.0～1.1	1.0～1.1

5.1.7 单独接地极或杆塔接地装置的冲击接地电阻，可按下式计算：

$$R_i=\alpha R \tag{12-14}$$

式中 R_i——单独接地极或杆塔接地装置的冲击接地电阻(Ω);

R——单独接地极或杆塔接地装置的工频接地电阻(Ω);

α——单独接地极或杆塔接地装置的冲击系数,可按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录F的规定取值。

5.1.8 当接地装置由较多水平接地极或垂直接地极组成时,垂直接地极的间距不应小于其长度的2倍;水平接地极的间距不宜小于5m。

由 n 根等长水平放射形接地极组成的接地装置,其冲击接地电阻可按下式计算:

$$R_i = \frac{R_{hi}}{n} \times \frac{1}{\eta_i} \tag{12-15}$$

式中 R_{hi}——每根水平放射形接地极的冲击接地电阻(Ω);

η_i——计及各接地极间相互影响的冲击利用系数,可按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录F的规定选取。

5.1.9 由水平接地极连接的 n 根垂直接地极组成的接地装置,其冲击接地电阻可按下式计算:

$$R_i = \frac{\frac{R_{vi}}{n} \times R'_{hi}}{\frac{R_{vi}}{n} \times R'_{hi}} \times \frac{1}{\eta_i} \tag{12-16}$$

式中 R_{vi}——每根垂直接地极的冲击接地电阻(Ω);

R'_{hi}——水平接地极的冲击接地电阻(Ω)。

5.2 6～220kV电缆线路的接地

5.2.1 电力电缆金属护套或屏蔽层按下列规定接地:

1.3芯电缆应在线路两终端直接接地。线路中有中间接头时,接头处也应直接接地;

2.单芯电缆在线路上应至少有一点直接接地,且任一非接地处金属护套或屏蔽层上的正常感应电压,不应超过下列数值:

1)在正常满负载情况下,未采取以防止人员任意接触金属护套或屏蔽层的安全措施时,50V。

2)在正常满负荷情况下,采取能防止人员任意接触金属护套或屏蔽层的安全措施时,100V。

3.长距离单芯水底电缆线路应在两岸的接头处直接接地。

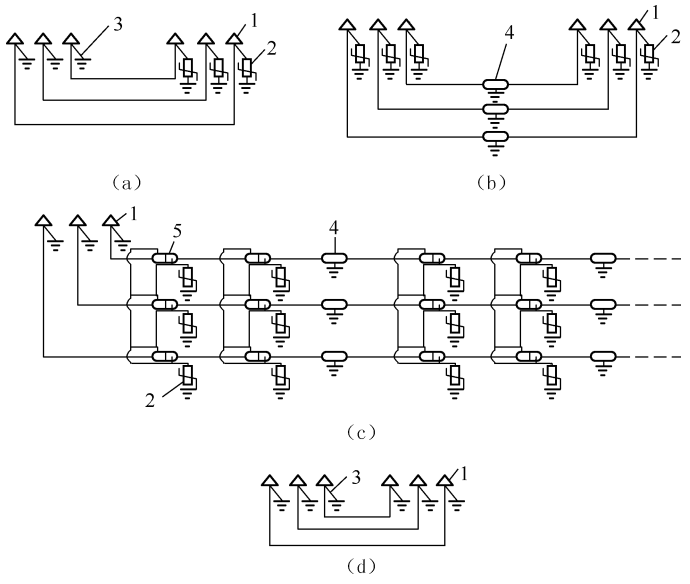
5.2.2 交流单芯电缆金属护套的接地方式,应按图12-1所示部位接地和设置金属护套或屏蔽层电压限制器,并应符合下列规定:

1.线路不长,且能满足1)的规定时,可采用线路一端直接接地方式。在系统发生单相接地故障对临近弱电线路有干扰时,还应沿电缆线路平行敷设一根回流线,回流线的选择与设置应符合下列要求:

1)回流线的截面选择应按系统发生单相接地故障电流和持续时间验算其稳定性;

2)回路线的排列布置方式,应使电缆正常工作时在回流线上产生的损耗最小。

2.线路稍长,一端接地不能满足《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第5.2.1条的规定,且无法分成3段组成交叉互联时,可采用线路中间一点接地方式,并应按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)5.2.2条第1款的规定加设回流线;



1—电缆终端头；2—金属屏蔽层电压限制器；3—直接接地；4—中间接头；5—绝缘接头

图 12-1 采用金属屏蔽层电压限制器时的接地方式

3. 线路较长，中间一点接地方式不能满足《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)5.2.1 条的规定时，宜使用绝缘接头将电缆的金属护套和绝缘屏蔽均匀分割成 3 段或 3 的倍数段，并应按图 12-1 所示采用交叉互联接地方式。

5.2.3 金属护套或屏蔽层电压限制器与电缆金属护套的连接线，应符合下列要求：

1. 连接线应最短，3m 之内可采用单芯塑料绝缘线，3m 以上宜采用同轴电缆；

2. 连接线的绝缘水平不得小于电缆外护套的绝缘水平；

3. 连接线截面应满足系统单相接地故障电流通过时的热稳定要求。

12.3.7 高压配电电气装置的接地

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

6.1 高压配电电气装置的接地电阻

6.1.1 工作于不接地、谐振接地和高电阻接地系统、向 1kV 及以下低压电气装置供电的高压配电电气装置，其保护接地的接地电阻应符合下式的要求，且不应大于 4Ω：

$$R \leqslant 50/I \tag{12-17}$$

式中 R——因季节变化的最大接地电阻(Ω)；

I——计算用的单相接地故障电流；谐振接地系统为故障点残余电流。

6.1.2 低电阻接地系统的高压配电电气装置，其保护接地的接地电阻应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)公式(4.2.1-1)的要求，且不应大于 4Ω。

6.1.3 保护配电变压器的避雷器，其接地应与变压器保护接地共用接地装置。

6.1.4 保护配电柱上断路器、负荷开关和电容器组等的避雷器的接地导体(线)，应与设备外壳相连，接地装置的接地电阻不应大于 10Ω。

6.2 高压配电电气装置的接地装置

6.2.1 户外箱式变压器、环网柜和柱上配电变压器等电气装置,宜敷设围绕户外箱式变压器、环网柜和柱上配电变压器的闭合环形的接地装置。居民区附近人行道路宜采用沥青路面。

6.2.2 与户外箱式变压器和环网柜内所有电气装置的外露导电部分连接的接地母线,应与闭合环形接地装置相连接。

6.2.3 配电变压器等电气装置安装在由其供电的建筑物内的配电装置室时,其所设接地装置应与建筑物基础钢筋等相连。配电变压器室内所有电气装置的外露导电部分应连接至该室内的接地母线,该接地母线应再连接至配电装置室的接地装置。

6.2.4 引入配电装置室的每条架空线路安装的金属氧化物避雷器的接地导体(线),应与配电装置室的接地装置连接,但在入地处应敷设集中接地装置。

12.3.8 土壤中人工接地极工频接地电阻的计算

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

A.0.1 均匀土壤中垂直接地极的接地电阻可按下列公式计算:

1. 当 $l \geqslant d$ 时,接地电阻可按下式计算(见图 12-2):

$$R_v = \frac{\rho}{2\pi l}\left(\ln\frac{8l}{d} - 1\right) \tag{12-18}$$

式中 R_v——垂直接地极的接地电阻(Ω);

ρ——土壤电阻率(Ω·m);

l——垂直接地极的长度(m);

d——接地极用圆导体时,圆导体的直径(m)。

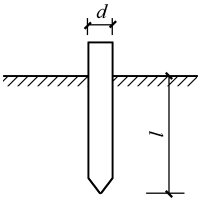


图 12-2 垂直接地极的示意

2. 当接地极用其他型式导体时,其等效直径可按下式计算(见图 12-3):

管状导体,$d = d_1$ (12-19)

扁导体,$d = \frac{b}{2}$ (12-20)

等边角钢,$d = 0.84b$ (12-21)

不等边角钢,$d = 0.71[b_1 b_2 (b_1^2 + b_2^2)]^{0.25}$ (12-22)

A.0.2 均匀土壤中不同形状水平接地极的接地电阻,可按下式计算:

$$R_h = \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{L^2}{hd} + A\right) \tag{12-23}$$

式中 R_h——水平接地极的接地电阻(Ω);

L——水平接地极的总长度(m);

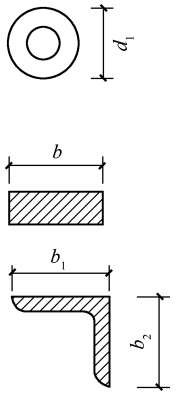


图 12-3 几种型式导体的计算用尺寸

h——水平接地极的埋设深度(m)；

d——水平接地极的直径或等效直径(m)；

A——水平接地极的形状系数。

A.0.3 均匀土壤中水平接地极为主边缘闭合的复合接地极(接地网)的接地电阻,可按下列公式计算：

$$R_n = \alpha_1 R_e \tag{12-24}$$

$$\alpha_1 = \left(3\ln\frac{L_0}{\sqrt{S}} - 0.2\right)\frac{\sqrt{S}}{L_0} \tag{12-25}$$

$$R_e = 0.213\frac{\rho}{\sqrt{S}}(1+B) + \frac{\rho}{2\pi L}\left(\ln\frac{S}{9hd} - 5B\right) \tag{12-26}$$

$$B = \frac{1}{1+4.6\dfrac{h}{\sqrt{S}}} \tag{12-27}$$

式中 R_n——任意形状边缘闭合接地网的接地电阻(Ω)；

R_e——等值(即等面积、等水平接地极总长度)方形接地网的接地电阻(Ω)；

S——接地网的总面积(m^2)；

d——水平接地极的直径或等效直径(m)；

h——水平接地极的埋设深度(m)；

L_0——接地网的外缘边线总长度(m)；

L——水平接地极的总长度(m)。

A.0.4 均匀土壤中人工接地极工频接地电阻的简易计算,可相应采用下列公式：

垂直式：

$$R \approx 0.3\rho \tag{12-28}$$

单根水平式：

$$R \approx 0.03\rho \tag{12-29}$$

复合式(接地网)：

$$R \approx 0.5\frac{\rho}{\sqrt{S}} = 0.28\frac{\rho}{r} \tag{12-30}$$

或

$$R \approx \frac{\sqrt{\pi}}{4} \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L} = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L} \tag{12-31}$$

式中 S——大于 $100m^2$ 的闭合接地网的面积;

R——与接地网面积 S 等值的圆的半径,即等效半径(m)。

A.0.5 典型双层土壤中几种接地装置的接地参数,可按下列公式计算:

深埋垂直接地极的接地电阻(见图 12-4):

$$R = \frac{\rho_a}{2\pi l}\left(\ln \frac{4l}{d} + C\right) \tag{12-32}$$

$l < H$ 时:

$$\rho_a = \rho_1 \tag{12-33}$$

$l > H$ 时:

$$\rho_a = \frac{\rho_1 \rho_2}{\frac{H}{l}(\rho_2 - \rho_1) + \rho_1} \tag{12-34}$$

$$C = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}\right)^n \ln \frac{2nH + l}{2(n-1)H + l} \tag{12-35}$$

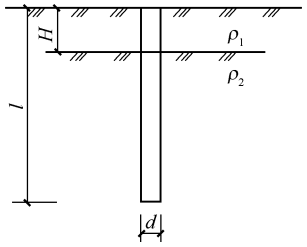


图 12-4 深埋接地体示意

土壤具有如图 12-5 所示的两个剖面结构时,水平接地网的接地电阻 R:

$$R = \frac{0.5\rho_1 \rho_2 \sqrt{S}}{\rho_1 S_2 + \rho_2 S_1} \tag{12-36}$$

式中 S_1、S_2——覆盖在 ρ_1、ρ_2 土壤电阻率上的接地网面积(m^2);

S——接地网总面积(m^2)。

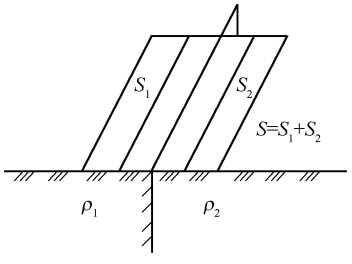


图 12-5 两种土壤电阻率的接地网

12.3.9 低压电气装置的接地装置和保护导体

8.1 接地装置

8.1.1 低压电气装置的接地装置，应符合下列要求：

1. 接地配置可兼有或分别承担防护性和功能性的作用，但首先应满足防护的要求。

2. 低压电气装置本身有接地极时，应将该接地极用一接地导体(线)连接到总接地端子上。

3. 对接地配置要求中的对地连接，应符合下列要求：

1)对装置的防护要求应可靠、适用。

2)能将对地故障电流和 PE 电流传导入地。

3)接地配置除保护要求外还有功能性的需要时，也应符合功能性的相应要求。

8.1.2 接地极应符合下列要求：

1. 对接地极的材料和尺寸的选择，应使其耐腐蚀又具有适当的机械强度。耐腐蚀和机械强度要求的埋入土壤中常用材料接地极的最小尺寸，应符合表 12-8 的规定。有防雷装置时，应符合现行国家标准《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)的有关规定。

表 12-8 耐腐蚀和机械强度要求的埋入土壤中常用材料接地极的最小尺寸

材料	表面	形状	最小尺寸				
			直径/mm	截面积/mm^2	厚度/mm	镀层/护套的厚度/μm	
						单个值	平均值
钢	热浸锌或不锈钢	带状		90	3	63	70
		型材		90	3	63	70
		深埋接地极用的圆棒	16			63	70
		浅埋接地极用的圆线	10				50
		管状	25		2	47	55
	铜护套	深埋接地极用的圆棒	15			2000	
	电镀铜护层	深埋接地极用的圆棒	14			90	100
铜	裸露	带状		50	2		
		浅埋接地极用的圆线		25			
		绞线	每根 1.8	25			
		管状	20		2		
	镀锡	绞线	每根 1.8	25		1	5
	镀锌	带状		50	2	20	40

注：①热镀锌或不锈钢可用作埋在混凝土中的电极；

②不锈钢不加镀层；

③钢带为带圆边的轧制的带状或切割的带状；

④铜镀锌带为带圆边的带状；

⑤在腐蚀性和机械损伤极低的场所，铜圆线可采用 $16mm^2$ 的截面；

⑥浅埋指埋设深度不超过 0.5m。

2. 接地极应根据土壤条件和所要求的接地电阻值，选择 1 个或多个。

3. 接地极可采用下列设施：

1)嵌入地基的地下金属结构网(基础接地)。

2)金属板。

3)埋在地下混凝土(预应力混凝土除外)中的钢筋。

4)金属棒或管子。

5)金属带或线。

6)根据当地条件或要求所设电缆的金属护套和其他金属护层。

7)根据当地条件或要求设置的其他适用的地下金属网。

4. 在选择接地极类型和确定其埋地深度时,应符合现行国家标准《低压电气装置 第4—41部分:安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)的有关规定,并应结合当地的条件,防止在土壤干燥和冻结的情况下,接地极的接地电阻增加到有损电击防护措施的程度。

5. 应注意在接地配置中采用不同材料时的电解腐蚀问题。

6. 用于输送可燃液体或气体的金属管道,不应用作接地极。

8.1.3 接地导体(线)应符合下列要求:

1. 接地导体(线)应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第8.2.1条的规定;埋入土壤中的接地导体(线)的最小截面积应符合表12-9的要求。

表12-9 埋入土壤中的接地导体(线)的最小截面积

有防腐蚀保护	有防机械损伤保护	无防机械损伤保护
有	铜:2.5mm² 钢:10mm²	铜:16mm² 钢:16mm²
无	铜:25mm² 钢:50mm²	

2 接地导体(线)与接地极的连接应牢固,且应有良好的导电性能,并应采用放热焊接、压接器、夹具或其他机械连接器连接。机械接头应按厂家的说明书安装。采用夹具时,不得损伤接地极或接地导体(线)。

8.1.4 总接地端子应符合下列要求:

1. 在采用保护联结的每个装置中都应配置总接地端子,并应将下列导线与其连接:

1)保护联结导体(线);

2)接地导体(线);

3)PE(当PE已通过其他PE与总接地端子连接时,不应把每根PE直接接到总接地端子上);

4)功能接地导体(线)。

2. 接到总接地端子上的每根导体,连接应牢固可靠,应能被单独地拆开。

8.2 保护导体

8.2.1 PE的最小截面积应符合下列要求:

1. 每根PE的截面积均应符合现行国家标准《低压电气装置 第4—41部分:安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)的第414条的规定,并应能承受预期的故障电流。

PE的最小截面积可按式(12-37)计算,也可按表12-10确定。

表12-10 PE的最小截面积

相线的截面积 S_a /mm²	相应PE的最小截面积/mm²	
	PE与相线使用相同材料	PE与相线使用不同材料
$S_a \leqslant 16$	S_a	$\frac{k_1}{k_2} \times S_a$

续表

相线的截面积 S_a /mm²	相应 PE 的最小截面积/mm²	
	PE 与相线使用相同材料	PE 与相线使用不同材料
$16 < S_a \leqslant 35$	16	$\frac{k_1}{k_2} \times 16$
$S_a > 35$	$\frac{S_a}{2}$	$\frac{k_1}{k_2} \times \frac{S_a}{2}$

注：①k_1为相导体的 k 值，按线和绝缘的材料由《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)表 G.0.1 或现行国家标准《低压电气装置 第 4－43 部分：安全防护 过电流保护》(GB 16895.5—2012)的有关规定选取；

②k_2为 PE 的 k 值，按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)表 G.0.2-1～表 G.0.2-5 的规定选取；

③对于 PEN，其截面积应符合现行国家标准《建筑物电气装置 第 5 部分：电气设备的选择和安装 第 52 章：布线系统》(GB 16895.6—2000)规定的 N 尺寸后，再减少。

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \tag{12-37}$$

式中 S——截面积(mm²)；

I——通过保护电器的阻抗可忽略的故障产生的预期故障电流有效值(A)；

t——保护电器自动切断时的动作时间(s)；

k——由 PE、绝缘和其他部分的材料以及初始和最终温度决定的系数，按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录 G 的规定取值。

2. 切断时间不超过 5s 时，PE 的截面积不应小于上式的要求。

3. 不属于电缆的一部分或不与相线共处于同一外护物之内的每根 PE，其截面积不应小于下列数值：

1)有防机械损伤保护，铜为 2.5mm²，铝为 16mm²；

2)没有防机械损伤保护，铜为 4mm²，铝为 16mm²。

4. 当两个或更多个回路共用一个时，其截面积应按下列要求确定：

按回路中遭受最严重的预期故障电流和动作时间，其截面积按本条第 1 款计算；

对应于回路中的最大相线截面积，其截面积按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)表 8.2.1 选定。

8.2.2 PE 类型应符合下列要求：

1. PE 应由下列一种或多种导体组成。

1)多芯电缆中的芯线。

2)与带电线共用的外护物(绝缘的或裸露的线)。

3)固定安装的裸露的或绝缘的导体。

4)符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 8.2.2 条第 2 款第 1 项和第 2 项规定条件的金属电缆护套、电缆屏蔽层、电缆铠装、金属编织物、同心线、金属导管。

5)PE 的配置，还应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 8.2.6 条的规定。

2. 装置中包括带金属外护物的设备，其金属外护物或框架同时满足下列要求时，可用作保护导体：

1)能利用结构或适当的连接，使对机械、化学或电化学损伤的防护性能得到保护，并保持电气连续性。

2)符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 8.2.1 条的规定。

3)在每个预留的分接点上,允许与其他保护导体连接。

3. 下列金属部分不应作为 PE 或保护联结导体:

1)金属水管。

2)含有可燃性气体或液体的金属管道。

3)正常使用中承受机械应力的结构部分。

4)柔性或可弯曲金属导管(用于保护接地或保护联结目的而特别设计的除外)。

5)柔性金属部件。

6)支撑线。

8.2.3 PE 的电气连续性应符合下列要求:

1. PE 对机械伤害、化学或电化学损伤、电动力和热动力等,应具有适当的防护性能。

2. 除下列各项外,PE 接头的位置应是可接近的:

1)填充复合填充物的接头。

2)封闭的接头。

3)在金属导管内和槽盒内的接头。

4)在设备标准中已成为设备的一部分的接头。

3. 在 PE 中,不应串入开关器件,可设置能用工具拆开的接头。

4. 在采用接地电气监测时,不应将专用器件串接在 PE 中。

5. 除《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 8.2.2 条第 2 款外,器具的外露可导电部分不应用于构成其他设备保护导体的一部分。

8.2.4 PEN 应符合下列要求:

1. PEN 应只在固定的电气装置中采用,铜的截面积不应小于 $10mm^2$ 或铝的截面积不应小于 $16mm^2$。

2. PEN 应按可能遭受的最高电压加以绝缘。

3. 从装置的任一点起,N 和 PE 分别采用单独的导体时,不允许该 N 再连接到装置的任何其他的接地部分,允许由 PEN 分接出的 PE 和 PE 超过一根以上。PE 和 N,可分别设置单独的端子或母线,PEN 应接到为 PE 预设的端子或母线上。

8.2.5 保护和功能共用接地应符合下列要求:

1. 保护和功能共用接地用途的导体,应满足有关 PE 的要求,并应符合现行国家标准《低压电气装置 第 4-41 部分:安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)的有关规定。信息技术电源的直流回路的 PEL 或 PEM,也可用作功能接地和保护接地两种共用功能的导体。

2. 外界可导电部分不应用作 PEL 和 PEM。

8.2.6 当过电流保护器用作电击防护时,PE 应合并到与带电导体同一布线系统中,或设置在靠过电流保护器最近的地方。

8.2.7 预期用作永久性连接,且所用的 PE 电流又超过 10mA 的用电设备,应按下列要求设置加强型 PE:

1. PE 的全长应采用截面积至少为 $10mm^2$ 的铜线或 $16mm^2$ 的铝线。

2. 也可再用一根截面积至少与用作间接接触防护所要求的 PE 相同,且一直敷设到 PE 的截面积不小于铜 $1.0mm^2$ 或铝 $16mm^2$ 处,用电器具对第二根 PE 应设置单独的接线端子。

8.3 保护联结导体

8.3.1 作为总等电位联结的保护联结导体和按《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 8.1.4 条的规定接到总接地端子的保护联结导体,其截面积不应小于下列数值:

1. 铜为 6mm²。

2. 镀铜钢为 25mm²。

3. 铝为 16mm²。

4. 钢为 50mm²。

8.3.2 作辅助联结用的保护联结导体应符合下列要求:

1. 联结两个外露可导电部分的保护联结导体,其电导不应小于接到外露可导电部分的较小的 PE 的电导。

2. 联结外露可导电部分和外界可导电部分的保护联结导体的电阻,不应大于相应 PE 1/2 截面积导体所具有的电阻。

3. 应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第 8.2.1 条第 3 款的规定。

12.3.10 高压电气装置接地导体(线)的热稳定校验

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

E.0.1 接地导体(线)的最小截面应符合下式的要求:

$$S_g \geqslant \frac{I_g}{C}\sqrt{t_e} \tag{12-38}$$

式中 S_g——接地导体(线)的最小截面(mm²);

I_g——流过接地导体(线)的最大接地故障不对称电流有效值(A),按工程设计水平年系统最大运行方式确定;

t_e——接地故障的等效持续时间,与 t_s 相同(s);

C——接地导体(线)材料的热稳定系数,根据材料的种类、性能及最大允许温度和接地故障前接地导体(线)的初始温度确定。

E.0.2 在校验接地导体(线)的热稳定时,I_g、t_e 及 C 应采用表 12-11 所列数值。接地导体(线)的初始温度取 40℃。

表 12-11 校验接地导体(线)热稳定用的 I_g 和 t_e 值

系统接地方式	I_g	t_e
有效接地	三相同体设备:单相接地故障电流; 三相分体设备:单相接地或三相接地流过接地线的最大接地故障电流	第 E.0.3 条
低电阻接地	单相接地故障电流	第 E.0.3 条

对钢和铝材的最大允许温度分别取 400℃ 和 300℃。钢和铝材的热稳定系数 C 值分别取 70 和 120。

铜和铜覆钢材采用放热焊接方式时的最大允许温度,应根据土壤腐蚀的严重程度经验

算分别取900℃、800℃或700℃。爆炸危险场所,应按专用规定选取。铜和铜镀钢材的热稳定系数C值可采用表12-12给出的数值。

表12-12 校验铜和铜镀钢材接地导体(线)热稳定用的C值

最大允许温度/℃	铜	导电率40%铜镀钢绞线	导电率30%铜镀钢绞线	导电率20%铜镀钢棒
700	249	167	144	119
800	259	173	150	124
900	268	179	155	128

E.0.3 热稳定校验用的时间可按下列要求计算:

1. 发电厂和变电站的继电保护装置配置有两套速动主保护、近接地后备保护、断路器失灵保护和自动重合闸时,t_e应按下式取值:

$$t_e \geqslant t_m + t_f + t_o \tag{12-39}$$

式中 t_m——主保护动作时间(s);

t_f——断路器失灵保护动作时间(s);

t_o——断路器开断时间(s)。

2. 配有一套速动主保护、近或远(或远近结合的)后备保护和自动重合闸,有或无断路器失灵保护时,t_e应按下式取值:

$$t_e \geqslant t_o + t_r \tag{12-40}$$

式中 t_r——第一级后备保护的动作时间(s)。

12.4 各种接地形式的适用范围

12.4.1 低压系统接地形式

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

7.1.2 TN系统可分为单电源系统和多电源系统,并应分别符合下列要求:

1. 对于单电源系统,TN电源系统在电源处应有一点直接接地,装置的外露可导电部分应经PE接到接地点。TN系统可按N和PE的配置,分为下列类型:

1)TN-S系统,整个系统应全部采用单独的PE,装置的PE也可另外增设接地(见图12-6～图12-8)。

2)TN-C-S系统,系统中的一部分,N的功能和PE的功能合并在一根导体中(见图12-9～图12-11)。图12-9中装置的PEN或PE导体可另外增设接地。图12-10和图12-11中对配电系统的PEN和装置的PE导体也可另外增设接地。

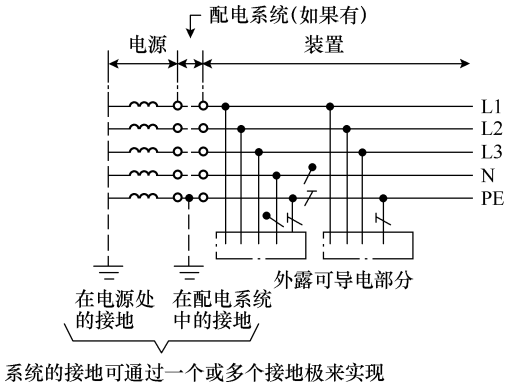


图 12-6 全系统将 N 与 PE 分开的 TN-S 系统

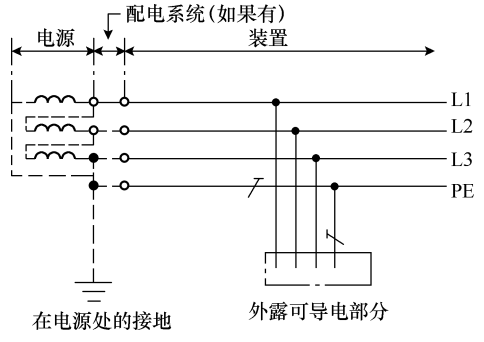


图 12-7 全系统将被接地的相导体与 PE 分分开的 TN-S 系统

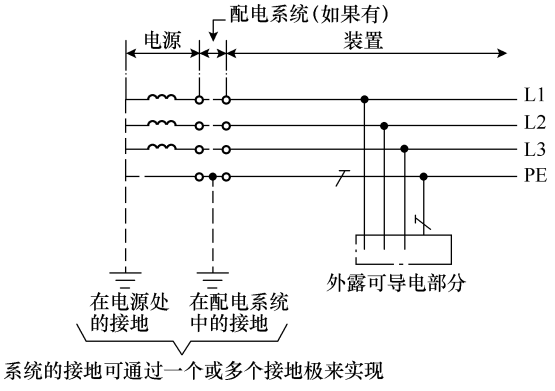


图 12-8 全系统采用接地的 PE 和未配出 N 的 TN-S 系统

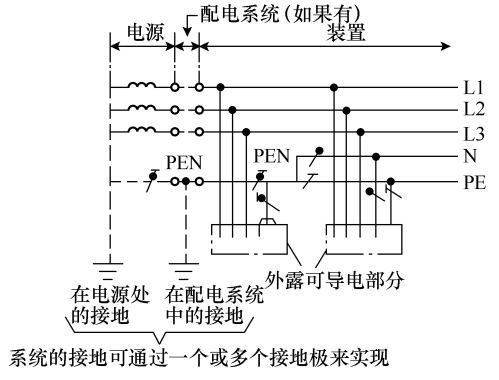


图 12-9 在装置非受电点的某处将 PEN 分离成 PE 和 N 的三相四线制的 TN-C-S 系统

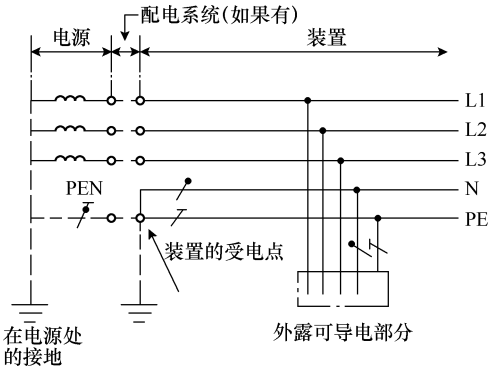


图 12-10 在装置的受电点将 PEN 分离成 PE 和 N 的三相四线制的 TN-C-S 系统

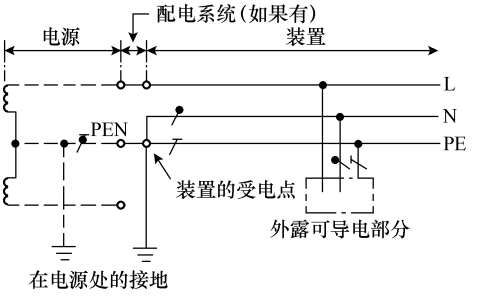


图 12-11 在装置的受电点将 PEN 分离成 PE 和 N 的单相两线制的 TN-C-S 系统

③ TN-C 系统,在全系统中,N 的功能和 PE 的功能合并在一根导体中(见图 12-12)。装置的 PEN 也可另外增设接地。

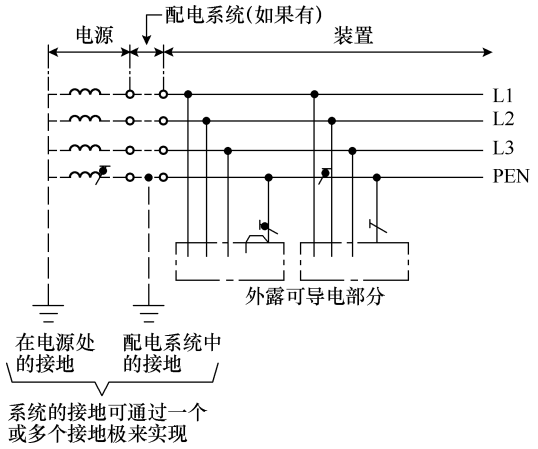


图 12-12 全系统采用将 N 的功能和 PE 的功能合并于一根导体的 TN-C 系统

2. 对于具有多电源的 TN 系统,应避免工作电流流过不期望的路径。

对用电设备采用单独的 PE 和 N 的多电源 TN-C-S 系统(见图 12-13),仅有两相负荷和三相负荷的情况下,无须配出 N,PE 宜多处接地。

对用电设备采用单独的 PE 和 N 的多电源 TN-C-S 系统(见 12-13)和对于具有多电源的TN 系统(见图 12-14),应符合下列要求:

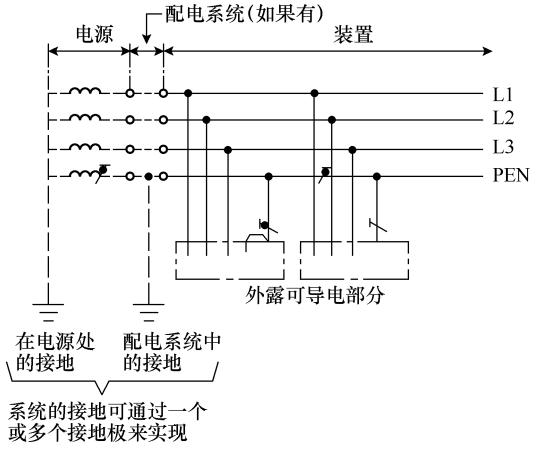


图 12-13 对用电设备采用单独的 PE 和 N 的多电源 TN-C-S 系统

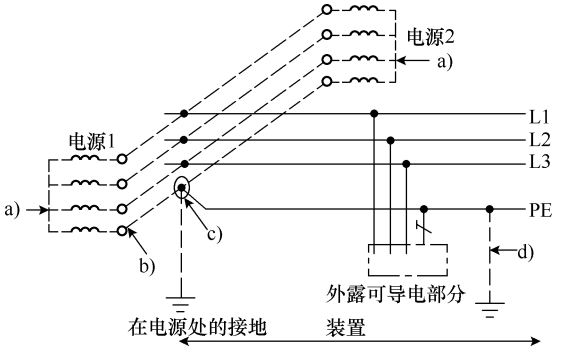


图 12-14 给两相或三相负荷供电的全系统内只有 PE 没有 N 的多电源 TN 系统

1)不应在变压器的中性点或发电机的星形点直接对地连接。

2)变压器的中性点或发电机的星形点之间相互连接的导体应绝缘,且不得将其与用电设备连接。

3)电源中性点间相互连接的导体与 PE 之间,应只一点连接,并应设置在总配电屏内。

4)对装置的 PE 可另外增设接地。

5)PE 的标志,应符合现行国家标准《人机界面标志标识的基本和安全规则　导体颜色或字母数字标识》(GB 7947—2010)的有关规定。

6)系统的任何扩展,应确保防护措施的正常功能不受影响。

7.1.3　TT 系统应只有一点直接接地,装置的外露可导电部分应接到在电气上独立于电源系统接地的接地极上(见图 12-15 和图 12-16)。对装置的 PE 可另外增设接地。

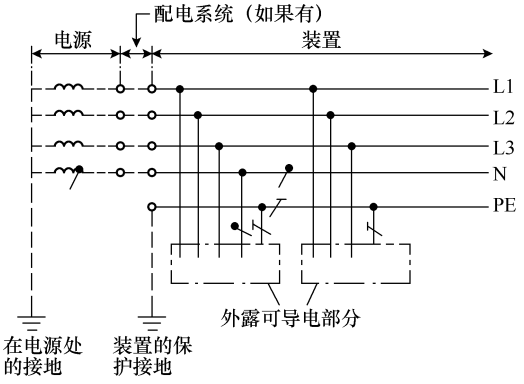


图 12-15　全部装置都采用分开的中性导体和保护导体的 TT 系统

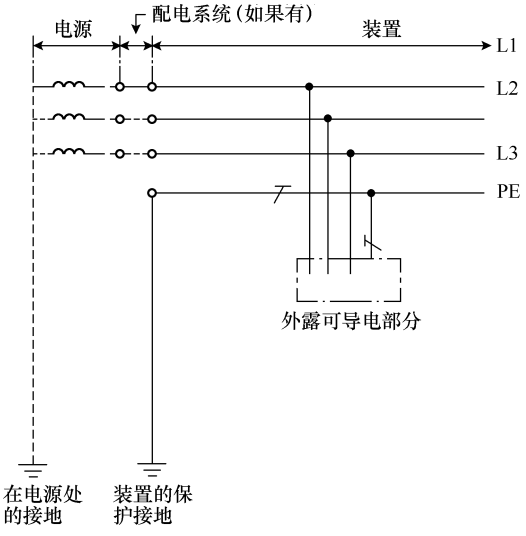


图 12-16　全部装置都具有接地的保护导体,但不配出中性导体的 TT 系统

7.1.4　IT 电源系统的所有带电部分应与地隔离,或某一点通过阻抗接地。电气装置的外露可导电部分,应被单独地或集中地接地,也可按现行国家标准《低压电气装置　第 4-41 部分:安全防护 电击防护》(GB 16895.21—2011)的第 411.6 条的规定,接到系统的接地上(见图 12-17 和图 12-18)。对装置的 PE 可另外增设接地,并应符合下列要求:

1. 该系统可经足够高的阻抗接地。

2. 可配出 N,也可不配出 N。

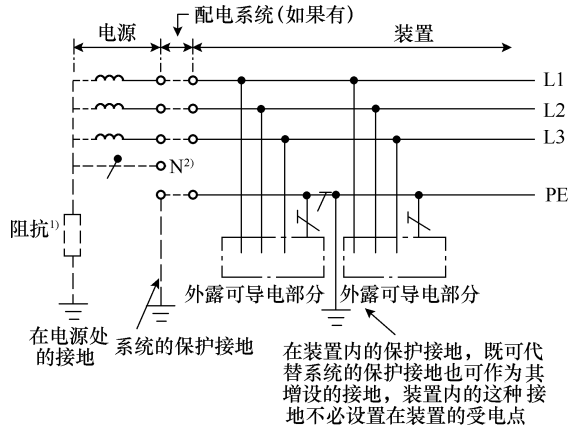


图 12-17 将所有的外露可导电部分采用 PE 相连后集中接地的 IT 系统

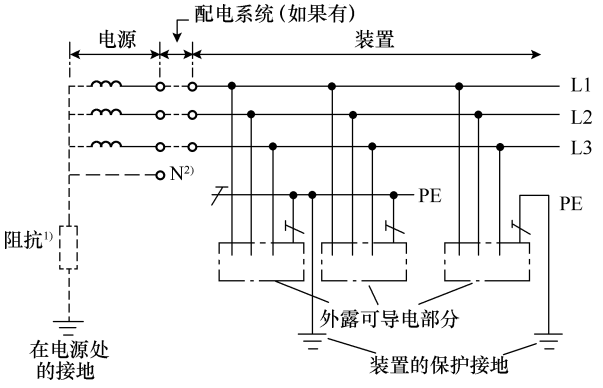


图 12-18 将外露可导电部分分组接地或独立接地的 IT 系统

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

12.2.1 低压配电系统的接地形式可分为 TN、TT、IT 三种系统,其中 TN 系统又可分为 TN-C、TN-S、TN-C-S 三种形式。

12.4.2 接地形式要求

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

12.2.2 TN 系统应符合下列基本要求:

1. 在 TN 系统中,配电变压器中性点应直接接地。所有电气设备的外露可导电部分应采用保护导体(PE)或保护接地中性导体(PEN)与配电变压器中性点相连接。

2. 保护导体或保护接地中性导体应在靠近配电变压器处接地,且应在进入建筑物处接地。对于高层建筑等大型建筑物,为在发生故障时,保护导体的电位靠近地电位,需要均匀

地设置附加接地点。附加接地点可采用有等电位效能的人工接地极或自然接地极等外界可导电体。

3. 保护导体上不应设置保护电器及隔离电器，可设置供测试用的只有用工具才能断开的接点。

4. 保护导体单独敷设时，应与配电干线敷设在同一桥架上，并应靠近安装。

12.2.3 采用 TN-C-S 系统时，当保护导体与中性导体从某点分开后不应再合并，且中性导体不应再接地。

12.2.4 TT 系统应符合下列基本要求：

1. 在 TT 系统中，配电变压器中性点应直接接地。电气设备外露可导电部分所连接的接地极不应与配电变压器中性点的接地极相连接。

2. TT 系统中，所有电气设备外露可导电部分宜采用保护导体与共用的接地网或保护接地母线、总接地端子相连。

3. TT 系统配电线路的接地故障保护，应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 7 章的有关规定。

12.2.5 IT 系统应符合下列基本要求：

1. 在 IT 系统中，所有带电部分应对地绝缘或配电变压器中性点应通过足够大的阻抗接地。电气设备外露可导电部分可单独接地或成组接地。

2. 电气设备的外露可导电部分应通过保护导体或保护接地母线、总接地端子与接地极连接。

3. IT 系统必须装设绝缘监视及接地故障报警或显示装置。

4. 在无特殊要求的情况下，IT 系统不宜引出中性导体。

12.2.6 IT 系统中包括中性导体在内的任何带电部分严禁直接接地。IT 系统中的电源系统对地应保持良好的绝缘状态。

12.2.7 应根据系统安全保护所具备的条件，并结合工程实际情况，确定系统接地形式。

在同一低压配电系统中，当全部采用 TN 系统确有困难时，也可部分采用 TT 系统接地形式。采用 TT 系统供电部分均应装设能自动切除接地故障的装置(包括剩余电流动作保护装置)或经由隔离变压器供电。自动切除故障的时间，应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 7 章的有关规定。

12.4.3 低压架空线路的接地、电气装置的接地电阻和保护总等电位联结系统

《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

规范引用

7.2.1 单独电源 TN 系统的低压线路和高、低压线路共杆线路的钢筋混凝土杆塔，其铁横担以及金属杆塔本体应与低压线路 PE 或 PEN 相连接，钢筋混凝土杆塔的钢筋宜与低压线路的相应导体相连接。与低压线路 PE 或 PEN 相连接的杆塔可不另做接地。

7.2.2 配电变压器设置在建筑物外其低压采用 TN 系统时，低压线路在引入建筑物处，PE 或 PEN 应重复接地，接地电阻不宜超过 10Ω。

7.2.3 中性点不接地 IT 系统的低压线路钢筋混凝土杆塔宜接地，金属杆塔应接地，接

地电阻不宜超过30Ω。

7.2.4 架空低压线路入户处的绝缘子铁脚宜接地,接地电阻不宜超过30Ω。土壤电阻率在200Ω·m及以下地区的铁横担钢筋混凝土杆线路,可不另设人工接地装置。当绝缘子铁脚与建筑物内电气装置的接地装置相连时,可不另设接地装置。人员密集的公共场所的入户线,当钢筋混凝土杆的自然接地电阻大于30Ω时,入户处的绝缘子铁脚应接地,并应设专用的接地装置。

7.2.5 向低压电气装置供电的配电变压器的高压侧工作于不接地、谐振接地和高电阻接地系统,且变压器的保护接地装置的接地电阻符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第6.1.1条的要求,建筑物内低压电气装置采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统时,低压系统电源中性点可与该变压器保护接地共用接地装置。

7.2.6 向低压电气装置供电的配电变压器的高压侧工作于低电阻接地系统,变压器的保护接地装置的接地电阻符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)第4.2.1条的要求,建筑物内低压采用TN系统且低压电气装置采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统时,低压系统电源中性点可与该变压器保护接地共用接地装置。

当建筑物内低压电气装置虽采用TN系统,但未采用(含建筑物钢筋的)保护总等电位联结系统,以及建筑物内低压电气装置采用TT或IT系统时,低压系统电源中性点严禁与该变压器保护接地共用接地装置,低压电源系统的接地应按工程条件研究确定。

7.2.7 TT系统中电气装置外露可导电部分应设保护接地的接地装置,其接地电阻与外露可导电部分的保护导体电阻之和,应符合下式的要求:

$$R_A \leqslant 50/I_a \tag{12-41}$$

式中 R_A——季节变化时接地装置的最大接地电阻与外露可导电部分的保护导体电阻之和(Ω);

I_a——保护电器自动动作的动作电流,当保护电器为剩余电流保护时,I_a为额定剩余电流动作电流$I_{\Delta n}$,(A)。

7.2.8 TT系统配电线路内由同一接地故障保护电器保护的外露可导电部分,应用PE连接至共用的接地极上。当有多级保护时,各级宜有各自的接地极。

7.2.9 IT系统各电气装置的外露可导电部分其保护接地可共用同一接地装置,亦可个别地或成组地用单独的接地装置接地。每个接地装置的接地电阻应符合下式的要求:

$$R \leqslant 50/I_d \tag{12-42}$$

式中 R——外露可导电部分的接地装置因季节变化的最大接地电阻(Ω);

I_d——相导体(线)和外露可导电部分间第一次出现阻抗可不计的故障时的故障电流(A)。

7.2.10 低压电气装置采用接地故障保护时,建筑物内电气装置应采用保护总等电位联结系统,并应符合《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)附录H的有关规定。

7.2.11 建筑物处的低压系统电源中性点、电气装置外露导电部分的保护接地、保护等电位联结的接地极等,可与建筑物的雷电保护接地共用同一接地装置。共用接地装置的接地电阻,不应大于各要求值中的最小值。

12.5 接触电压、跨步电压计算方法

12.5.1 概述

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

2.0.16 接触电位差

接地故障(短路)电流流过接地装置时,大地表面形成分布电位,在地面上到设备水平距离为1.0m处与设备外壳、架构或墙壁离地面的垂直距离2.0m处两点间的电位差。

2.0.18 跨步电位差

接地故障(短路)电流流过接地装置时,地面上水平距离为1.0m的两点间的电位差。

12.5.2 均匀土壤中接地网接触电位差和跨步电位差的计算

规范引用 《交流电气装置的接地设计规范》(GB/T 50065—2011)

D.0.1 本附录只适用于均匀土壤中接地网接触电位差和跨步电位差的计算。均匀土壤中不规则、复杂结构的等间距布置和不等间距布置的接地网,以及分层土壤中的接地网其接触电位差和跨步电位差的计算,宜采用专门的计算机程序进行。

D.0.2 接地网接地极的布置可分为等间距布置和不等间距布置。等间距布置时,接地网的水平接地极采用10～20m的间距布置。接地极间距的大小应根据地面电气装置接地布置的需要确定。不等间距布置的接地网接地极从中间到边缘应按一定的规律由稀到密布置。

D.0.3 等间距布置接地网的接触电位差和跨步电位差的计算。

1)接地网初始设计时的网孔电压计算。

接地网初始设计时的网孔电压可按下列公式计算:

$$U_m = \frac{\rho I_G K_m K_i}{L_M} \tag{12-43}$$

$$K_m = \frac{1}{2\pi}\left[\ln\left(\frac{D^2}{16hd} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd} - \frac{h}{4d}\right) + \frac{K_{ii}}{K_h}\ln\frac{8}{\pi(2n-1)}\right] \tag{12-44}$$

$$K_h = \sqrt{1+h/h_0} \tag{12-45}$$

式中 ρ——土壤电阻率(Ω·m);

K_m——网孔电压几何校正系数;

K_i——接地网不规则校正系数,用来计及推导K_m时的假设条件引入的误差;

I_G——接地网的最大入地电流;

D——接地网平行导体间距;

d——接地网导体直径。扁导体的等效直径d为扁导体宽度b的1/2;等边角钢的等效直径d为$0.84b$(b为角钢边宽度);不等边角钢的等效直径d为0.71

$\sqrt[4]{b_1 b_2 (b_1^2 + b_2^2)}$($b_1$和$b_2$为角钢两边宽度)；

h——接地网埋深；

K_h——接地网埋深系数；

h_0——参考深度，取1m；

K_{ii}——因内部导体对角网孔电压影响的校正加权系数。

上述式(12-43)～式(12-45)对埋深在0.25～2.50m范围的接地网有效。当接地网具有沿接地网周围布置的垂直接地极、在接地网四角布置的垂直接地极或沿接地网四周和其内部布置的垂直接地极时，$K_{ii}=1$。

对无垂直接地极或只有少数垂直接地极，且垂直接地极不是沿外周或四角布置时，K_{ii}可按下式计算：

$$K_{ii} = 1/(2n)^{2/n} \tag{12-46}$$

式中 n——矩形或等效矩形接地网一个方向的平行导体数。

对于矩形和不规则形状的接地网的计算，n可按下式计算：

$$n = n_a n_b n_c n_d \tag{12-47}$$

上式中，对于方形接地网，$n_b=1$；对于方形和矩形接地网，$n_c=1$；对于方形、矩形和L形接地网，$n_d=1$。

对于其他情况，可按下列公式计算：

$$n_a = \frac{2L_c}{L_p} \tag{12-48}$$

$$n_b = \sqrt{\frac{L_p}{4\sqrt{A}}} \tag{12-49}$$

$$n_c = \left(\frac{L_x L_y}{A}\right)^{\frac{0.7A}{L_x L_y}} \tag{12-50}$$

$$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}} \tag{12-51}$$

式中 L_c——水平接地网导体的总长度(m)；

L_p——接地网的周边长度(m)；

A——接地网面积(m^2)；

L_x——接地网x方向的最大长度(m)；

L_y——接地网y方向的最大长度(m)；

D_m——接地网上任意两点间最大的距离(m)。

如果进行简单的估计，在计算K_m和K_i以确定网孔电压时可采用$n=\sqrt{n_1 n_2}$，n_1和n_2为x和y方向的导体数。

接地网不规则校正系数K_i可按下式计算：

$$K_i = 0.644 + 0.148n \tag{12-52}$$

对于无垂直接地极的接地网，或只有少数分散在整个接地网的垂直接地极，这些垂直接地极没有分散在接地网四角或接地网的周边上，有效埋设长度L_M按下式计算：

$$L_M = L_c + L_R \tag{12-53}$$

式中 L_R——所有垂直接地极的总长度。

对于在边角有垂直接地极的接地网，或沿接地网四周和其内部布置垂直接地极时，有效

埋设长度 L_M 可按下式计算：

$$L_M = L_c + \left[1.55 + 1.22\left(\frac{L_r}{\sqrt{L_x^2 + L_y^2}}\right)\right]L_R \tag{12-54}$$

式中 L_r——每个垂直接地棒的长度(m)。

2)最大跨步电位差的计算.

跨步电位差 U_s 与几何校正系数 K_s、校正系数 K_i、土壤电阻率 ρ、接地系统单位导体长度的平均流散电流有关，可按下列公式计算：

$$U_s = \frac{\rho I_G K_S K_i}{L_s} \tag{12-55}$$

$$L_s = 0.75L_c + 0.85L_R \tag{12-56}$$

式中 I_G——接地网入地故障电流；

L_s——埋入地中的接地系统导体有效长度。

发电厂和变电站接地系统的最大跨步电位差出现在平分接地网边角直线上，从边角点开始向外 1m 远的地方。

对于一般埋深 h 在 0.25～2.5m 的范围的接地网，K_s 可按下式计算：

$$K_S = \frac{1}{\pi}\left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1-0.5^{n-2}}{D}\right) \tag{12-57}$$

D.0.4 不等间距布置接地网的接触电位差和跨步电位差的计算。

1. 不等间距布置接地网的布置规则应符合下列要求：

1)不等间距布置的长方形接地网(见图 12-19)，长或宽方向的第 i 段导体长度 L_{ik} 占边长 L 的百分数 S_{ik} 可按下式计算：

$$S_{ik} = \frac{L_{ik}}{L} \times 100\% \tag{12-58}$$

式中 L——接地网的边长，在长方向，$L=L_1$，在宽方向，$L=L_2$。

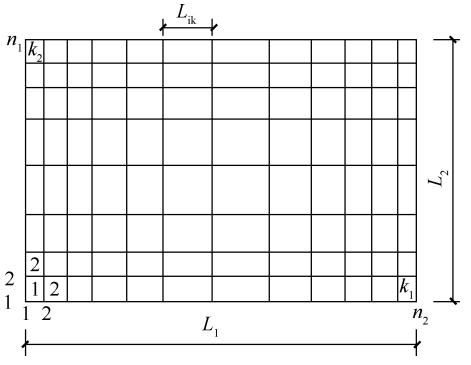


图 12-19 不等间距布置的长方形接地网

接地网长方向的导体根数为 n_1，宽方向的导体根数为 n_2。长方向上导体分段数为 $k_1 = n_1 - 1$，宽方向上的导体分段数为 $k_2 = n_2 - 1$。

S_{ik} 与导体分段数 k 和从周边导体数起的导体段的序号 i 的关系如表 12-13 所示。因接地网的对称性，如某方向的导体分段为奇数，则列出了 $(k+1)/2$ 个数据，若为偶数，则列出了 $k/2$ 个数据，其余数据可以根据对称性赋值。$k \geqslant 7$，对表中结果进行拟合，则 S_{ik} 可按下列公式计算：

$$S_{ik} = b_1 \exp(-ib_2) + b_3 \tag{12-59}$$

当 $7 \leqslant k \leqslant 14$ 时：

$$b_1 = -1.8066 + 2.6681\lg k - 1.0719\lg^2 k \tag{12-60}$$

$$b_2 = -0.7649 + 2.6992\lg k - 1.6188\lg^2 k \tag{12-61}$$

$$b_3 = 1.8520 - 2.8568\lg k + 1.1948\lg^2 k \tag{12-62}$$

当 $14 < k \leqslant 25$ 时：

$$b_1 = -0.00064 - 2.50923/(k+1) \tag{12-63}$$

$$b_2 = -0.03083 + 3.17003/(k+1) \tag{12-64}$$

$$b_3 = -0.00967 + 2.21653/(k+1) \tag{12-65}$$

当 $25 < k \leqslant 40$ 时：

$$b_1 = -0.00006 - 2.50923/(k+1) \tag{12-66}$$

$$b_2 = -0.03083 + 3.17003/(k+1) \tag{12-67}$$

$$b_1 = -0.00969 + 2.2105/(k+1) \tag{12-68}$$

式中 b_1、b_2 和 b_3——与 k 有关的常数。

表 12-13 S_{ik} 与导体分段数 k 和从周边导体数起的导体段的序号 i 的关系

k \ i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	27.50	45.00								
4	17.50	32.50								
5	12.50	23.50	28.33							
6	8.75	17.50	23.75							
7	71.4	13.57	18.57	21.43						
8	5.50	10.83	15.67	18.00						
9	4.50	8.94	12.83	15.33	16.73					
10	3.75	7.50	11.08	13.08	14.58					
11	3.18	6.36	9.54	11.36	12.73	13.46				
12	2.75	5.42	8.17	10.00	11.33	12.33				
13	2.38	4.69	6.77	8.92	10.23	11.15	11.69			
14	2.00	3.86	6.00	7.86	9.28	10.24	10.76			
15	1.56	3.62	5.35	6.82	8.07	9.12	10.01	10.77		
16	1.46	3.27	4.82	6.14	7.28	8.24	9.07	9.77		
17	1.38	2.97	4.35	5.54	6.57	7.47	8.24	8.90	9.47	
18	1.14	2.58	3.86	4.95	5.91	6.67	8.15	8.15	8.71	
19	1.05	2.32	3.47	4.53	5.47	6.26	7.53	7.53	8.11	8.36
20	0.95	2.15	3.20	4.15	5.00	5.75	7.00	7.00	7.50	7.90

2. 不等间距布置接地网时接地电阻可按下列公式计算：

$$R = k_{Rh}k_{RL}k_{Rm}k_{RN}k_{Rd}(1.068\times10^{-4}+0.445/\sqrt{S})\rho \tag{12-69}$$

$$k_{Rh} = 1.061-0.070\sqrt[5]{h} \tag{12-70}$$

$$k_{RL} = 1.144-0.13\sqrt{L_1/L_2} \tag{12-71}$$

$$k_{RN} = 1.256-0.367\sqrt{N_1/N_2}+0.126N_1/N_2 \tag{12-72}$$

$$k_{Rm} = (1.168-0.079\sqrt[5]{m})k_{RN} \tag{12-73}$$

$$k_{Rd} = 0.931+0.0174/\sqrt[3]{d} \tag{12-74}$$

$$m = (N_1-1)(N_2-1) \tag{12-75}$$

式中 ρ——土壤电阻率(Ω·m)；

k_{Rh}、k_{RL}、k_{Rm}、k_{Rn}、k_{Rd}——接地电阻的埋深、形状、网孔数目、导体根数和导体直径对接地电阻的影响系数；

L_1、L_2——接地网的长度和宽度(m)；

N_1、N_2——长宽方向布置的导体根数；

m——接地网的网孔数目。

3. 最大接触电位差U_T可按下列公式计算：

$$U_T = k_{TL}k_{Th}k_{Td}k_{TS}k_{TN}k_{Tm}V \tag{12-76}$$

$$k_{TL} = 1.215-0.269\sqrt[3]{L_2/L_1} \tag{12-77}$$

$$k_{Th} = 1.612-0.654\sqrt[5]{h} \tag{12-78}$$

$$k_{Td} = 1.527-1.494\sqrt[5]{d} \tag{12-79}$$

$$k_{TN} = 64.301-232.65\sqrt[6]{N}+279.65\sqrt[3]{N}110.32\sqrt{N} \tag{12-80}$$

$$k_{TS} = -0.118+0.445\sqrt[12]{S} \tag{12-81}$$

$$k_{Tm} = 9.727\times10^{-3}+1.356/\sqrt{m} \tag{12-82}$$

$$N = N_2/N_1 \tag{12-83}$$

式中 $V=I_GR$——接地网的最大接地电位升高；

I_{GM}——流入接地网的最大接地故障电流；

R——接地网接地电阻；

k_{TL}、k_{Tb}、k_{Td}、k_{TS}、k_{TN}、k_{Tm}——最大接触电位差的形状、埋深、接地导体直径、接地网面积、接地体导体根数及接地网网孔数目影响系数。

4. 最大跨步电位差U_s可按下列公式计算：

$$U_s = k_{SL}k_{Sh}k_{Sd}k_{SS}k_{SN}k_{Sm}U_0 \tag{12-84}$$

$$k_{SL} = 29.081-1.862\sqrt{l}+435.18l+425.68l^{1.5}+148.59l^2 \tag{12-85}$$

$$k_{Sh} = 0.45\exp(-2.294\sqrt[3]{h}) \tag{12-86}$$

$$k_{Sd} = -2780+9623\sqrt[36]{d}-11099\sqrt[18]{d}+4265\sqrt[12]{d} \tag{12-87}$$

$$k_{SN} = 1.0+1.416\times10^6\exp(-202.7N)-0.306\exp[29.264(N-1)] \tag{12-88}$$

$$k_{SS} = 0.911+19.104\sqrt{S} \tag{12-89}$$

$$k_{Sm} = k_{SN}(34.474 - 11.541\sqrt{m} + 1.43m - 0.076m^{1.5} + 1.455 \times 10^{-3}m^2) \quad (12\text{-}90)$$

$$N = N_2/N_1 \quad (12\text{-}91)$$

$$l = L_1/L_2 \quad (12\text{-}92)$$

式中 k_{SL}、k_{Sh}、k_{Sd}、k_{SS}、k_{SN}、k_{Sm}——最大跨步电位差的形状、埋深、接地导体直径、接地网面积、接地体导体根数及接地网网孔数目影响系数。

13 照　明

13.1 照明方式和照明种类的划分

13.1.1 照明方式

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)



3.1.1 照明方式的确定应符合下列规定：

1. 工作场所应设置一般照明；
2. 当同一场所内的不同区域有不同照度要求时，应采用分区一般照明；
3. 对于作业面照度要求较高，只采用一般照明不合理的场所，宜采用混合照明；
4. 在一个工作场所内不应只采用局部照明；
5. 当需要提高特定区域或目标的照度时，宜采用重点照明。

13.1.2 照明种类

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)



3.1.2 照明种类的确定应符合下列规定：

1. 室内工作及相关辅助场所，均应设置正常照明；
2. 当下列场所正常照明电源失效时，应设置应急照明：

1)需确保正常工作或活动继续进行的场所，应设置备用照明；

2)需确保处于潜在危险之中的人员安全的场所，应设置安全照明；

3)需确保人员安全疏散的出口和通道，应设置疏散照明。

3. 需在夜间非工作时间值守或巡视的场所应设置值班照明；
4. 需警戒的场所，应根据警戒范围的要求设置警卫照明；
5. 在危及航行安全的建筑物、构筑物上，应根据相关部门的规定设置障碍照明。

13.2 照度标准及照明质量的要求

13.2.1 照明标准

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

4.1.1 照度标准值应按 0.5lx、1lx、2lx、3lx、5lx、10lx、15lx、20lx、30lx、50lx、75lx、100lx、150lx、200lx、300lx、500lx、750lx、1000lx、1500lx、2000lx、3000lx、5000lx 分级。

4.1.2 符合下列一项或多项条件,作业面或参考平面的照度标准值可按第 4.1.1 条的分级提高一级:

1. 视觉要求高的精细作业场所,眼睛至识别对象的距离大于 500mm;
2. 连续长时间紧张的视觉作业,对视觉器官有不良影响;
3. 识别移动对象,要求识别时间短促而辨认困难;
4. 视觉作业对操作安全有重要影响;
5. 识别对象与背景辨认困难;
6. 作业精度要求高,且产生差错会造成很大损失;
7. 视觉能力显著低于正常能力;
8. 建筑等级和功能要求高。

4.1.3 符合下列一项或多项条件,作业面或参考平面的照度标准值可按第 4.1.1 条的分级降低一级:

1. 进行很短时间的作业;
2. 作用精度或速度无关紧要;
3. 建筑等级和功能要求较低。

4.1.4 作业面邻近周围照度可低于作业面照度,但不宜低于表 13-1 的数值。

表 13-1 作业面邻近周围照度

作业面照度/lx	作业面邻近周围照度/lx
≥750	500
500	300
300	200
≤200	与作业面照度相同

4.1.5 作业面背景区域一般照明的照度不宜低于作业面邻近周围照度的 1/3。

4.1.6 照明设计的维护系数应按表 13-2 选用。

表 13-2 维护系数

环境污染特征		房间或场所举例	灯具最少擦拭次数/(次/年)	维护系数值
室内	清洁	卧室、办公室、影院、剧场、餐厅、阅览室、教室、病房、客房、仪器仪表装配间、电子元器件装配间、检验室、商店营业厅、体育馆、体育场等	2	0.80
	一般	机场候机厅、候车室、机械加工车间、机械装配车间、农贸市场等	2	0.70
	污染严重	公用厨房、锻工车间、铸工车间、水泥车间等	3	0.60
开敞空间		雨篷、站台	2	0.65

4.1.7 设计照度与照度标准值的偏差不应超过±10%。

5.2.1 住宅建筑照明标准值宜符合表 13-3 的规定。

表 13-3 住宅建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	R_a
起居室	一般活动	0.75m 水平面	100	80
	书写、阅读		300 *	
卧室	一般活动	0.75 水平面	75	80
	床头、阅读		150 *	
餐厅		0.75m 餐桌面	150	80
厨房	一般活动	0.75m 水平面	100	80
	操作台	台面	150 *	
卫生间		0.75m 水平面	100	80
电梯前厅		地面	75	60
走道、楼梯间		地面	50	60
车库		地面	30	60

注：* 指混合照明照度。

5.2.2 其他居住建筑照明标准值宜符合表 13-4 的规定。

表 13-4 其他居住建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	R_a
职工宿舍		地面	100	80
老年人卧室	一般活动	0.75m 水平面	150	80
	床头、阅读		300 *	80
老年人起居室	一般活动	0.75m 水平面	200	80
	床头、阅读		500 *	80
酒店式公寓		地面	150	80

注：* 指混合照明照度。

5.3.1 图书馆建筑照明标准值应符合表13-5的规定。

表13-5 图书馆建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
一般阅览室、开放式阅览室	0.75m水平面	300	19	0.60	80
多媒体阅览室	0.75m水平面	300	19	0.60	80
老年阅览室	0.75m水平面	500	19	0.70	80
珍善本、舆图阅览室	0.75m水平面	500	19	0.60	80
陈列室、目录厅(室)、出纳厅	0.75m水平面	300	19	0.60	80
档案库	0.75m水平面	200	19	0.60	80
书库、书架	0.25m垂直面	50	—	0.40	80
工作间	0.75m水平面	300	19	0.60	80
采编、修订工作	0.75m水平面	500	19	0.60	80

5.3.2 办公建筑照明标准值应符合表13-6的规定。

表13-6 办公建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
普通办公室	0.75m水平面	300	19	0.60	80
高档办公室	0.75m水平面	500	19	0.60	80
会议室	0.75m水平面	300	19	0.60	80
视频会议室	0.75m水平面	750	19	0.60	80
接待室、前台	0.75m水平面	200	—	0.40	80
服务大厅、前台	0.75m水平面	300	22	0.40	80
设计室	实际工作面	500	19	0.60	80
文件整理、复印、发行室	0.75m水平面	300	—	0.40	80
资料、档案存放室	0.75m水平面	200	—	0.40	80

注:此表适用于所有类型建筑的办公室和类似用途场所的照明。

5.3.3 商店建筑照明标准值应符合表13-7的规定。

表13-7 商店建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
一般商店营业厅	0.75m水平面	300	22	0.60	80
一般室内商业街	地面	200	22	0.60	80
高档商店营业厅	0.75m水平面	500	22	0.60	80
高档室内商业街	地面	300	22	0.60	80
一般超市营业厅	0.75m水平面	300	22	0.60	80
高档超市营业厅	0.75m水平面	500	22	0.60	80

续表

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
仓储式超市	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
专卖店营业厅	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
农贸市场	0.75m 水平面	200	25	0.40	80
收款台	台面	500 *	—	0.60	80

注：* 指混合照明照度。

5.3.4 观演建筑照明标准值应符合表 13-8 的规定。

表 13-8 观演建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
门厅		地面	200	22	0.40	80
观众厅	影院	0.75m 水平面	100	22	0.40	80
	剧场、音乐厅	0.75m 水平面	150	22	0.40	80
观众休息厅	影院	地面	150	22	0.40	80
	剧场、音乐厅	地面	200	22	0.40	80
排演厅		地面	300	22	0.60	80
化妆室	一般活动区	0.75m 水平面	150	22	0.60	80
	化妆台	1.1m 高处垂直面	500 *	—	—	80

注：* 指混合照明照度。

5.3.5 旅馆建筑照明标准值应符合表 13-9 的规定。

表 13-9 旅馆建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
客房	一般活动区	0.75m 水平面	75	—	—	80
	床头	0.75m 水平面	150	—	—	80
	写字台	台面	300 *	—	—	80
	卫生间	0.75m 水平面	150	—	—	80
中餐厅		0.75m 水平面	200	22	0.60	80
西餐厅		0.75m 水平面	150	—	0.60	80
酒吧间、咖啡厅		0.75m 水平面	75	—	0.40	80
多功能厅、宴会厅		0.75m 水平面	300	22	0.60	80
会议室		0.75m 水平面	300	19	0.60	80
大堂		地面	200	—	0.40	80
总服务台		台面	300 *	—	—	80
休息厅		地面	200	22	0.40	80
客房层走廊		地面	50	—	0.40	80

续表

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
厨房	台面	500*	—	0.70	80
游泳池	水面	200	22	0.60	80
健身房	0.75m水平面	200	22	0.60	80
洗衣房	0.75m水平面	200	—	0.40	80

注：*指混合照明照度。

5.3.6 医疗建筑照明标准值应符合表13-10的规定。

表13-10 医疗建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
治疗室、检查室	0.75m水平面	300	19	0.70	80
化验室	0.75m水平面	500	19	0.70	80
手术室	0.75m水平面	750	19	0.70	90
诊室	0.75m水平面	300	19	0.60	80
候诊室、排号厅	0.75m水平面	200	22	0.40	80
病房	地面	100	19	0.60	80
走道	地面	100	19	0.60	80
护士站	0.75m水平面	300	—	0.60	80
药房	0.75m水平面	500	19	0.60	80
重症监护室	0.75m水平面	300	19	0.60	90

5.3.7 教育建筑照明标准值应符合表13-11的规定。

表13-11 教育建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
教师、阅览室	课桌面	300	19	0.60	80
实验室	实验桌面	300	19	0.60	80
美术教室	桌面	500	19	0.60	90
多媒体教室	0.75m水平面	300	19	0.60	80
电子信息机房	0.75m水平面	500	19	0.60	80
计算机教室、电子阅览室	0.75m水平面	500	19	0.60	80
楼梯间	地面	100	22	0.40	80
教室黑板	黑板面	500*	—	0.70	80
学生宿舍	地面	150	22	0.40	80

注：*指混合照明照度。

5.3.8 博览建筑照明标准值应符合下列规定：

1. 美术馆建筑照明标准值应符合表13-12的规定；

2. 科技馆建筑照明标准值应符合表13-13的规定；

3. 博物馆建筑陈列室展品照度标准值及年曝光量限值应符合表 5.3.8-3 的规定，博物馆建筑其他场所照明标准值应符合表 13-14 的规定。

表 13-12 美术馆建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
会议报告厅	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
休息厅	0.75m 水平面	150	22	0.40	80
美术品售卖	0.75m 水平面	300	19	0.60	80
公共大厅	地面	200	22	0.40	80
绘画展厅	地面	100	19	0.60	80
雕塑展厅	地面	150	19	0.60	80
藏画库	地面	150	22	0.60	80
藏画修理	0.75m 水平面	500	19	0.70	90

注：①绘画、雕塑展厅的照明标准值中不含展品陈列照明；

②当展览对光敏感要求的展品时应满足表 13-14 的要求。

表 13-13 科技馆建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
科普教室、实验区	0.75m 水平面	300	19	0.60	80
会议报告厅	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
纪念品售卖区	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
儿童乐园	地面	300	22	0.60	80
公共大厅	地面	200	22	0.40	80
球幕、巨幕、3D、4D 影院	地面	100	19	0.40	80
常设展厅	地面	200	22	0.60	80
临时展厅	地面	200	22	0.60	80

注：常设展厅和临时展厅的照明标准值中不含展品陈列照明。

表 13-14 博物馆建筑陈列室展品照度标准值及年曝光量限值

类别	参考平面及其高度	照度标准值/lx	年曝光量/(lx·h/a)
对光特别敏感的展品：纺织品、织绣品、绘画、纸质物品、彩绘、陶(石)器、染色皮革、动物标本等	展品面	≤50	≤50000
对光敏感的展品：油画、蛋清画、不染色皮革、角制品、骨制品、象牙制品、竹木制品和漆器等	展品面	≤150	≤360000
对光不敏感的展品：金属制品、石质器物、陶瓷器、宝玉石器、岩矿标本、玻璃制品、搪瓷制品、珐琅器等	展品面	≤300	不限制

注：①陈列室一般照明应按展品照度值的 20%～30%选取；

②陈列室一般照明 UGR 不宜大于 19；

③一般场所 R_a 不应低于 80，辨色要求高的场所，R_a 不应低于 90。

表 13-15 博物馆建筑其他场所照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
门厅	地面	200	22	0.40	80
序厅	地面	100	22	0.40	80
会议报告厅	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
美术制作室	0.75m 水平面	500	22	0.60	90
编目室	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
摄影室	0.75m 水平面	100	22	0.60	80
熏蒸室	实际工作面	150	22	0.60	80
实验室	实际工作面	300	22	0.60	80
保护修复室	实际工作面	750 *	19	0.70	90
文物复制室	实际工作面	750 *	19	0.70	90
标本制作室	实际工作面	750 *	19	0.70	90
周转库房	地面	50	22	0.40	80
藏品库房	地面	75	22	0.40	80
藏品提看室	0.75m 水平面	150	22	0.60	80

注：* 指混合照明的照度标准值。其一般照明的照度值应按混合照明照度的 20%～30%选取。

5.3.9 会展建筑照明标准值应符合表 13-16 的规定。

表 13-16 会展建筑照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
会议室、洽谈室	0.75m 水平面	300	19	0.60	80
宴会厅	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
多功能厅	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
公共大厅	地面	200	22	0.40	80
一般展厅	地面	200	22	0.60	80
高档展厅	地面	300	22	0.60	80

5.3.10 交通建筑照明标准值应符合表 13-17 的规定。

表 13-17 交通建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
售票台		台面	500 *	—	—	80
问讯处		0.75m 水平面	200	—	0.60	80
候车(机、船)室	普通	地面	150	22	0.40	80
	高档	地面	200	22	0.60	80

续表

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
贵宾室休息室		0.75m 水平面	300	22	0.60	80
中央大厅、售票大厅		地面	200	22	0.40	80
海关、护照检查		工作面	500	—	0.70	80
安全检查		地面	300	—	0.60	80
换票、行李托运		0.75m 水平面	300	19	0.60	80
行李认领、到达大厅、出发大厅		地面	200	22	0.40	80
通道、连接区、扶梯、换乘厅		地面	150	—	0.40	80
有棚站台		地面	75	—	0.60	60
无棚站台		地面	50	—	0.40	20
走廊、楼梯、平台、流动区域	普通	地面	75	25	0.40	60
	高档	地面	150	25	0.60	80
地铁站厅	普通	地面	100	25	0.60	60
	高档	地面	200	22	0.60	80
地铁进出站门厅	普通	地面	150	25	0.60	60
	高档	地面	200	22	0.60	80

注：* 指混合照明照度。

5.3.11 金融建筑照明标准值应符合表 13-18 的规定。

表 13-18 金融建筑照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a
营业大厅		地面	200	22	0.60	80
营业柜台		台面	500	—	0.60	80
客户服务中心	普通	0.75m 水平面	200	22	0.60	60
	贵宾室	0.75m 水平面	300	22	0.60	80
交易大厅		0.75m 水平面	300	22	0.60	80
数据中心主机房		0.75m 水平面	500	19	0.60	80
保管库		地面	200	22	0.40	80
信用卡作业区		0.75m 水平面	300	19	0.60	80
自助银行		地面	200	19	0.60	80

注：本表适用于银行、证券、期货、保险、电信、邮政等行业，也适用于类似用途（如供电、供水、供气）的营业厅、柜台和客服中心。

5.3.12 体育建筑照明标准值应符合下列规定：

1. 无电视转播的体育建筑照明标准值应符合表 13-19 的规定；

2. 有电视转播的体育建筑照明标准值应符合表 13-20 的规定。

表 13-19 无电视转播的体育建筑照明标准值

运动项目		参考平面及其高度	照度标准值/lx			R_a		眩光指数(GR)	
			训练和娱乐	业余比赛	专业比赛	训练	比赛	训练	比赛
篮球、排球、手球、室内足球		地面	300	500	750	65	65	35	30
体操、艺术体操、技巧、蹦床、举重		台面							
速度滑冰		冰面							
羽毛球		地面	300	750/500	1000/500	65	65	35	30
乒乓球、柔道、摔跤、跆拳道、武术		台面	300	500	1000	65	65	35	30
冰球、花样滑冰、冰上舞蹈、短道速滑		冰面							
拳击		台面	500	1000	2000	65	65	35	30
游泳、跳水、水球、花样游泳		水面	200	300	500	65	65	—	—
马术		地面							
射击、射箭	射击区、弹(箭)道区	地面	200	200	300	65	65	—	—
	靶心	靶心垂直面	1000	1000	1000				
击剑		地面	300	500	750	65	65	—	—
		垂直面	200	300	500				
网球	室外	地面	300	500/300	750/500	65	65	55	50
	室内							35	30
场地自行车	室外	地面	200	500	750	65	65	55	50
	室内							35	30
足球、田径		地面	200	300	500	20	65	55	50
曲棍球		地面	300	500	750	20	65	55	50
棒球、垒球		地面	300/200	500/300	750/500	20	65	55	50

注:①当表中同一格有两个值时,"/"前为内场的值,"/"后为外场的值;

②表中规定的照度应为比赛场地参考平面上的使用照度。

表 13-20 有电视转播的体育建筑照明标准值

运动项目		参考平面及其高度	照度标准值/lx			R_a		T_{cp}/K		眩光指数(GR)
			国家、国际比赛	重大国际比赛	HDTV	国家、国际比赛，重大国际比赛	HDTV	国家、国际比赛，重大国际比赛	HDTV	
篮球、排球、手球、室内足球、乒乓球		地面 1.5m	1000	1400	2000	≥80	>80	≥4000	≥5500	30
体操、艺术体操、技巧、蹦床、柔道、摔跤、跆拳道、武术、举重		台面 1.5m								
击剑		台面 1.5m								—
游泳、跳水、水球、花样游泳		水面 0.2m								—
冰球、花样滑冰、冰上舞蹈、短道速滑、速度滑冰		冰面 1.5m								30
羽毛球		地面 1.5m	1000/750	1400/1000	2000/1400					30
拳击		台面 1.5m	1000	2000	2500					30
射箭	射击区、箭道区	地面 1.0m	500	500	500					—
	靶心	靶心垂直面	1500	1500	2000					—
场地自行车	室内	地面 1.5m	1000	1400	2000					30
	室外									50
足球、田径、曲棍球		地面 1.5m								50
马术		地面 1.5m								—
网球	室内	地面 1.5m	1000/750	1400/1000	2000/1400					30
	室外									50
棒球、垒球		地面 1.5m								50
射击	射击区、弹道区	地面 1.0m	500	500	500	≥80		≥3000	≥4000	—
	靶心	靶心垂直面	1500	1500	2000					

注：①HDTV 指高清晰度电视，其特殊显色指数 R_9 应大于零；

②表中同一格有两个值时，“/”前为内场的值，“/”后为外场的值；

③表中规定的照度除射击、射箭外，其他均应为比赛场地主摄像机方向的使用照度值。

5.4.1 工业建筑一般照明标准值应符合表 13-21 的规定。

表 13-21 工业建筑一般照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
1. 机、电工业							
机械加工	粗加工	0.75m 水平面	200	22	0.40	60	可另加局部照明
	一般加工 公差≥0.1mm	0.75m 水平面	300	22	0.60	60	应另加局部照明
	精密加工 公差<0.1mm	0.75m 水平面	500	19	0.70	60	应另加局部照明
机电、仪表、装配	大件	0.75m 水平面	200	25	0.60	80	可另加局部照明
	一般件	0.75m 水平面	300	25	0.60	80	可另加局部照明
	精密	0.75m 水平面	500	22	0.70	80	应另加局部照明
	特精密	0.75m 水平面	750	19	0.70	80	应另加局部照明
电线、电缆制造		0.75m 水平面	300	25	0.60	60	—
线圈绕制	大线圈	0.75m 水平面	300	25	0.60	80	—
	中等线圈	0.75m 水平面	500	22	0.70	80	可另加局部照明
	精细线圈	0.75m 水平面	750	19	0.70	80	应另加局部照明
线圈浇注		0.75m 水平面	300	25	0.60	80	—
焊接	一般	0.75m 水平面	200	—	0.60	60	—
	精密	0.75m 水平面	300	—	0.70	60	—
钣金		0.75m 水平面	300	—	0.60	60	—
冲压、剪切		0.75m 水平面	300	—	0.60	60	—
热处理		地面至 0.5m 水平面	200	—	0.60	20	—
铸造	熔化、浇铸	地面至 0.5m 水平面	200	—	0.60	20	—
	造型	地面至 0.5m 水平面	300	25	0.60	60	—
精密铸造的制模、脱壳		地面至 0.5m 水平面	500	25	0.60	60	—
锻工		地面至 0.5m 水平面	200	—	0.60	20	—
电镀		0.75m 水平面	300	—	0.60	80	—
喷漆	一般	0.75m 水平面	300	—	0.60	80	—
	精细	0.75m 水平面	500	22	0.70	80	—
酸洗、腐蚀、清洗		0.75m 水平面	300	—	0.60	80	—
抛光	一般装饰性	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	应防频闪
	精细	0.75m 水平面	500	22	0.70	80	应防频闪
复合材料加工、铺叠、装饰		0.75m 水平面	500	22	0.60	80	—

续表

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
机电修理	一般	0.75m 水平面	200	—	0.60	60	可另加局部照明
	精密	0.75m 水平面	300	22	0.70	60	可另加局部照明
2. 电子工业							
整机类	整机厂	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
	装配厂房	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	应另加局部照明
元器件类	微电子产品及集成电路	0.75m 水平面	500	19	0.70	80	—
	显示器件	0.75m 水平面	500	19	0.70	80	可根据工艺要求降低照度值
	印制线路板	0.75m 水平面	500	19	0.70	80	—
	光伏组件	0.75m 水平面	300	19	0.60	80	—
	电真容器件、机电组件等	0.75m 水平面	500	19	0.60	80	—
电子材料类	半导体材料	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
	光纤、光缆	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
酸、碱、药液及粉配制		0.75m 水平面	300	—	0.60	80	—
3. 纺织、化纤工业							
纺织	选毛	0.75m 水平面	300	22	0.70	80	可另加局部照明
	清棉、和毛、梳毛	0.75m 水平面	150	22	0.60	80	—
	前纺:梳棉、并条、粗纺	0.75m 水平面	200	22	0.60	80	—
	纺纱	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
	织布	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
织袜	穿综筘、缝纫、量呢、检验	0.75m 水平面	300	22	0.70	80	可另加局部照明
	修补、剪毛、染色、印花、裁剪、熨烫	0.75m 水平面	300	22	0.70	80	可另加局部照明
化纤	投料	0.75m 水平面	100	—	0.60	80	—
	纺丝	0.75m 水平面	150	22	0.60	80	—
	卷绕	0.75m 水平面	200	22	0.60	80	—
	平衡间、中间贮存、干燥间、废丝间、油剂高位槽间	0.75m 水平面	75	—	0.60	60	—
	集束间、后加工间、打包间、油剂调配间	0.75m 水平面	100	25	0.60	60	—

续表

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
化纤	组件清洗间	0.75m水平面	150	25	0.60	60	—
	拉伸、变形、分级包装	0.75m水平面	150	25	0.70	80	操作面可另加局部照明
	化验、检验	0.75m水平面	200	22	0.70	80	可另加局部照明
	聚合车间、原液车间	0.75m水平面	100	22	0.60	60	—
4. 制药工业							
制药生产:配制、清洗、灭菌、超滤、制粒、压片、混匀、烘干、灌装、轧盖等		0.75m水平面	300	22	0.60	80	—
制药生产流转通道		地面	200	—	0.40	80	—
更衣室		地面	200	—	0.40	80	—
技术夹层		地面	100	—	0.40	40	—
5. 橡胶工业							
炼胶车间		0.75m水平面	300	—	0.60	80	—
压延压出工段		0.75m水平面	300	—	0.60	80	—
成型裁断工段		0.75m水平面	300	22	0.60	80	—
硫化工段		0.75m水平面	300	—	0.60	80	—
6. 电力工业							
火电厂锅炉房		地面	100	—	0.60	60	—
发电机房		地面	200	—	0.60	60	—
主控室		0.75m水平面	500	19	0.60	80	—
7. 钢铁工业							
炼铁	高炉炉顶平台、各层平台	平台面	30	—	0.60	60	—
	出铁场、出铁机室	地面	100	—	0.60	60	—
	卷扬机室、碾泥机室、煤气清洗配水室	地面	50	—	0.60	60	—
炼钢及连铸	炼钢主厂房和平台	地面、平台面	150	—	0.60	60	需另加局部照明
	连铸浇注平台、切割区、出坯区	地面	150	—	0.60	60	需另加局部照明
	精整清理线	地面	200	25	0.60	60	—
轧钢	棒线材主厂房	地面	150	—	0.60	60	—
	钢管主厂房	地面	150	—	0.60	60	—
	冷轧主厂房	地面	150	—	0.60	60	需另加局部照明
	热轧主厂房、钢坯台	地面	150	—	0.60	60	—
	加热炉周围	地面	50	—	0.60	20	—

续表

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
轧钢	垂绕、横剪及纵剪机组	0.75m 水平面	150	25	0.60	80	—
	打印、检查、精密分类、验收	0.75m 水平面	200	22	0.70	80	—
8. 制浆造纸工业							
备料		0.75m 水平面	150	—	0.60	60	—
蒸煮、选洗、漂白		0.75m 水平面	200	—	0.60	60	—
打浆、纸机底部		0.75m 水平面	200	—	0.60	60	—
纸机网部、压榨部、烘缸、压光、卷取、涂布		0.75m 水平面	300	—	0.60	60	—
复卷、切纸		0.75m 水平面	300	25	0.60	60	—
选纸		0.75m 水平面	500	22	0.60	60	—
碱回收		0.75m 水平面	200	—	0.60	60	—
9. 食品及饮料工业							
食品	糕点、糖果	0.75m 水平面	200	22	0.60	80	—
	肉制品、乳制品	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
饮料		0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
啤酒	糖化	0.75m 水平面	200	—	0.60	80	—
	发酵	0.75m 水平面	150	—	0.60	80	—
	包装	0.75m 水平面	150	25	0.60	80	—
10. 玻璃工业							
备料、退火、熔制		0.75m 水平面	150	—	0.60	60	—
窑炉		地面	100	—	0.60	20	—
11. 水泥工业							
主要生产车间(破碎、原料粉磨、烧成、水泥粉磨、包装)		地面	100	—	0.60	20	—
储存		地面	75	—	0.60	60	—
输送走廊		地面	30	—	0.40	20	—
粗坯成形		0.75m 水平面	300	—	0.60	60	—
12. 皮革工业							
原皮、水浴		0.75m 水平面	200	—	0.60	60	—
轻毂、整理、成品		0.75m 水平面	200	22	0.60	60	可另加局部照明
干燥		地面	100	—	0.60	20	—
13. 卷烟工业							

续表

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
制丝车间	一般	0.75m 水平面	200	—	0.60	80	—
	较高	0.75m 水平面	300	—	0.70	80	—
卷烟、接过滤嘴、包装、滤棒成型车间	一般	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
	较高	0.75m 水平面	500	22	0.70	80	—
膨胀烟丝车间		0.75m 水平面	200	—	0.60	60	—
贮叶间		1.0m 水平面	100	—	0.60	60	—
贮丝间		1.0m 水平面	100	—	0.60	60	—
14. 化学、石油工业							
厂区内经常操作的区域,如泵、压缩机、阀门、电操作柱等		操作位高度	100	—	0.60	20	—
装置区现场控制和检测点,如指示仪表、液位计等		测控点高度	75	—	0.70	60	—
人行通道、平台、设备顶部		地面或台面	30	—	0.60	20	—
装卸站	装卸设备顶部和底部操作位	操作位高度	75	—	0.60	20	—
	平台	平台	30	—	0.60	20	—
电缆夹层		0.75m 水平面	100	—	0.40	60	—
避难间		0.75m 水平面	150	—	0.40	60	—
压缩机厂房		0.75m 水平面	150	—	0.60	60	—
15. 木业和家具制造							
一般机器加工		0.75m 水平面	200	22	0.60	60	应防频闪
精细机器加工		0.75m 水平面	500	19	0.70	80	应防频闪
锯木区		0.75m 水平面	300	25	0.60	60	应防频闪
模型区	一般	0.75m 水平面	300	22	0.60	60	—
	精细	0.75m 水平面	750	22	0.70	60	—
胶合、组装		0.75m 水平面	300	25	0.60	60	—
磨光、异形细木工		0.75m 水平面	750	22	0.70	80	—

注:需增加局部照明的作业面,增加的局部照明照度值宜按该场所一般照明照度值的 1.0～3.0 倍选取。

5.5.1 公共和工业建筑通用房间或场所照明标准值应符合表 13-22 的规定。

表 13-22 公共和工业建筑通用房间或场所照明标准值

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
门厅	普通	地面	100	—	0.40	60	—
	高档	地面	200	—	0.60	80	—

续表

房间或场所		参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
走廊、流动区域、楼梯间	普通	地面	50	25	0.40	60	—
	高档	地面	100	25	0.60	80	—
自动扶梯		地面	150	—	0.60	60	—
厕所、盥洗室、浴室	普通	地面	75	—	0.40	60	—
	高档	地面	150	—	0.60	80	—
电梯前厅	普通	地面	100	—	0.40	80	—
	高档	地面	150	—	0.60	60	—
休息室		地面	100	22	0.40	80	—
更衣室		地面	150	22	0.40	80	—
储藏室		地面	100	—	0.40	60	—
餐厅		地面	200	22	0.60	80	—
公共车库		地面	50	—	0.60	60	—
公共车库检修间		地面	200	25	0.60	80	可另加局部照明
试验室	一般	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	可另加局部照明
	精细	0.75m 水平面	500	19	0.60	80	可另加局部照明
检验	一般	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	可另加局部照明
	精细，有颜色要求	0.75m 水平面	750	19	0.60	80	可另加局部照明
计量室，测量室		0.75m 水平面	500	19	0.70	80	可另加局部照明
电话站、网络中心		0.75m 水平面	500	19	0.60	80	—
计算机站		0.75m 水平面	500	19	0.60	80	防光幕反射
变、配电站	配电装置室	0.75m 水平面	200	—	0.60	80	—
	变压器室	地面	100	—	0.60	60	—
电源设备室、发电机室		地面	200	25	0.60	80	—
电梯机房		地面	200	25	0.60	80	—
控制室	一般控制室	0.75m 水平面	300	22	0.60	80	—
	主控制室	0.75m 水平面	500	19	0.60	80	—
动力站	风机房、空调机房	地面	100	—	0.60	60	—
	泵房	地面	100	—	0.60	60	—
	冷冻房	地面	150	—	0.60	60	—
	压缩空气站	地面	150	—	0.60	60	—
	锅炉房、煤气站的操作层	地面	100	—	0.60	60	锅炉水位表照度不小于 50lx
仓库	大件库	1.0m 水平面	50	—	0.40	20	—
	一般件库	1.0m 水平面	100	—	0.60	60	—
	半成品库	1.0m 水平面	150	—	0.60	80	—
	精细件库	1.0m 水平面	200	—	0.60	80	货架垂直照度不小于 50lx

续表

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值/lx	UGR	U_0	R_a	备注
车辆加油站	地面	100	—	0.60	60	油表表面照度不小于50lx

5.5.2 备用照明的照度标准值应符合下列规定：

1. 供消防作业及救援人员在火灾时继续工作场所，应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》(GB 50016—2006)的有关规定；

2. 医院手术室、急诊抢救室、重症监护室等应维持正常照明的照度；

3. 其他场所的照度值除另有规定外，不应低于该场所一般照明照度标准值的10%。

5.5.3 安全照明的照度标准值应符合下列规定：

1. 医院手术室应维持正常照明的30%照度；

2. 其他场所不应低于该场所一般照明照度标准值的10%，且不应低于15lx。

5.5.4 疏散照明的地面平均水平照度值应符合下列规定：

1. 水平疏散通道不应低于1lx，人员密集场所、避难层(间)不应低于2lx；

2. 垂直疏散区域不应低于5lx；

3. 疏散通道中心线的最大值与最小值之比不应大于40∶1；

4. 寄宿制幼儿园和小学的寝室、老年公寓、医院等需要救援人员协助疏散的场所不应低于5lx。

13.2.2 照明质量

《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

规范引用

4.2 照度均匀度

4.2.1 在有电视转播要求的体育场馆，其比赛时场地照明应符合下列规定：

1. 比赛场地水平照度最小值与最大值之比不应小于0.5；

2. 比赛场地水平照度最小值与平均值之比不应小于0.7；

3. 比赛场地主摄像机方向的垂直照度最小值与最大值之比不应小于0.4；

4. 比赛场地主摄像机方向的垂直照度最小值与平均值之比不应小于0.6；

5. 比赛场地平均水平照度宜为平均垂直照度的0.75～2.0；

6. 观众席前排的垂直照度值不宜小于场地垂直照度的0.25。

4.2.2 在无电视转播要求的体育场馆，其比赛时场地的照度均匀度应符合下列规定：

1. 业余比赛时，场地水平照度最小值与最大值之比不应小于0.4，最小值与平均值之比不应小于0.6；

2. 专业比赛时，场地水平照度最小值与最大值之比不应小于0.5，最小值与平均值之比不应小于0.7。

4.3 眩光限制

4.3.1 长期工作或停留的房间或场所，选用的直接型灯具的遮光角不应小于表13-23的规定。

表 13-23 直接型灯具的遮光角

光源平均亮度/(Kcd/m²)	遮光角/(°)
1～20	10
20～50	15
50～50	20
500	30

4.3.2 防止或减少光幕反射和反射眩光应采用下列措施：

1. 应将灯具安装在不易形成眩光的区域内；

2. 可采用低光泽度的表面装饰材料；

3. 应限制灯具出光口表面发光亮度；

4. 墙面的平均照度不宜低于 50lx，顶棚的平均照度不宜低于 30lx。

4.3.3 有视觉显示终端的工作场所，在与灯具中垂线成 65°～90°范围内的灯具平均亮度限值应符合表 13-24 的规定。

表 13-24 灯具平均亮度限值(cd/m²)

屏幕分类	灯具平均亮度限值	
	屏幕亮度大于 200cd/m²	屏幕亮度小于等于 200cd/m²
亮背景暗字体或图像	3000	1500
暗背景亮字体或图像	1500	1000

4.4 光源颜色

4.4.1 室内照明光源色表特征及适用场所宜符合表 13-25 的规定。

表 13-25 光源色表特征及适用场所

相关色温/K	色表特征	适用场所
＜3300	暖	客房、卧室、病房、酒吧
3300～5300	中间	办公室、教室、阅览室、商场、诊室、检验室、实验室、控制室、机加工车间、仪表装配
＞5300	冷	热加工车间、高照度场所

4.4.2 长期工作或停留的房间或场所，照明光源的显色指数(R_a)不应小于 80。在灯具安装高度大于 8m 的工业建筑场所，R_a可低于 80，但必须能够辨别安全色。

4.4.3 选用同类光源的色容差不应大于 5SDCM。

4.4.4 当选用发光二极管灯光源时，其色度应满足下列要求：

1. 长期工作或停留的房间或场所，色温不宜高于 4000K，特殊显色指数 R_9应大于零；

2. 在寿命期内发光二极管灯的色品坐标与初始值的偏差在国家标准《均匀色空间和色差公式》(GB/T 7921—2008)规定的 CIE1976 均匀色度标尺图中，不应超过 0.007；

3. 发光二极管灯具在不同方向上的色品坐标与其加权平均值偏差在国家标准《均匀色空间和色差公式》(GB/T 7921—2008)规定的 CIE 1976 均匀色度标尺图中，不应超过 0.004。

4.5 反射比

4.5.1 长时间工作的房间，作业面的反射比宜限制在 0.2～0.6。

4.5.2 长时间工作，工作房间内表面的反射比宜按表 13-26 选取。

表 13-26 工作房间内表面反射比

表面名称	反射比
顶棚	0.6～0.9
墙面	0.3～0.8
地面	0.1～0.5

13.3 光源及电气附件的选用和灯具选型的有关规定

13.3.1 光源选择

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

3.2.1 当选择光源时,应满足显色性、启动时间等要求,并应根据光源、灯具及镇流器等的效率或效能、寿命等在进行综合技术经济分析比较后确定。

3.2.2 照明设计应按下列条件选择光源:

1. 灯具安装高度较低的房间宜采用细管直管形三基色荧光灯;

2. 商店营业厅的一般照明宜采用细管直管形三基色荧光灯、小功率陶瓷金属卤化物灯;重点照明宜采用小功率陶瓷金属卤化物灯、发光二极管灯;

3. 灯具安装高度较高的场所,应按使用要求,采用金属卤化物灯、高压钠灯或高频大功率细管直管荧光灯;

4. 旅馆建筑的客房宜采用发光二极管灯或紧凑型荧光灯;

5. 照明设计不应采用普通照明白炽灯,对电磁干扰有严格要求,且其他光源无法满足的特殊场所除外。

3.2.3 应急照明应选用能快速点亮的光源。

3.2.4 照明设计应根据识别颜色要求和场所特点,选用相应显色指数的光源。

13.3.2 照明灯具及其附属装置选择

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

3.3.1 选择的照明灯具、镇流器应通过国家强制性产品认证。

3.3.2 在满足眩光限制和配光要求条件下,应选用效率或效能高的灯具,并应符合下列规定:

1. 直管形荧光灯灯具的效率不应低于表 13-27 的规定。

表 13-27 直管形荧光灯灯具的效率(%)

灯具出光口形式	开敞式	保护罩(玻璃或塑料)		格栅
		透明	棱镜	
灯具效率	75	70	55	65

2. 紧凑型荧光灯筒灯灯具的效率不应低于表 13-28 的规定。

表 13-28 紧凑型荧光灯筒灯灯具的效率(%)

灯具出光口形式	开敞式	保护罩	格栅
灯具效率	55	50	45

3. 小功率金属卤化物灯筒灯灯具的效率不应低于表 13-29 的规定。

表 13-29 小功率金属卤化物灯筒灯灯具的效率(%)

灯具出光口形式	开敞式	保护罩	格栅
灯具效率	60	55	50

4. 高强度气体放电灯灯具的效率不应低于表 13-30 的规定。

表 13-30 高强度气体放电灯灯具的效率(%)

灯具出光口形式	开敞式	格栅或透光罩
灯具效率	75	60

5. 发光二极管筒灯灯具的效能不应低于表 13-31 的规定。

表 13-31 发光二极管筒灯灯具的效能(lm/W)

色温	2700K		3000K		4000K	
灯具出光口形式	格栅	保护罩	格栅	保护罩	格栅	保护罩
灯具效能	55	60	60	65	65	70

6. 发光二极管平面灯灯具的效能不应低于表 13-32 的规定。

表 13-32 发光二极管平面灯灯具的效能(lm/W)

色温	2700K		3000K		4000K	
灯具出光口形式	格栅	保护罩	格栅	保护罩	格栅	保护罩
灯具效能	60	65	65	70	70	75

3.3.3 各种场所严禁采用触电防护的类别为 0 类的灯具。

3.3.4 灯具选择应符合下列规定:

1. 特别潮湿场所,应采用相应防护措施的灯具;
2. 有腐蚀性气体或蒸汽场所,应采用相应防腐蚀要求的灯具;
3. 高温场所,宜采用散热性能好、耐高温的灯具;
4. 多尘埃的场所,应采用防护等级不低于 IP5X 的灯具;
5. 在室外的场所,应采用防护等级不低于 IP54 的灯具;
6. 装有锻锤、大型桥式吊车等震动、摆动较大场所应有防震和防脱落措施;
7. 易受机械损伤、光源自行脱落可能造成人员伤害或财物损失场所应有防护措施;
8. 有爆炸或火灾危险场所应符合国家现行有关标准的规定;
9. 有洁净度要求的场所,应采用不易积尘、易于擦拭的洁净灯具,并应满足洁净场所的相关要求;
10. 需防止紫外线照射的场所,应采用隔紫外线灯具或无紫外线光源。

3.3.5 直接安装在普通可燃材料表面的灯具,应符合现行国家标准《灯具 第1部分:一般要求与试验》(GB 7000.1—2007)的有关规定。

3.3.6 镇流器的选择应符合下列规定:

1. 荧光灯应配用电子镇流器或节能电感镇流器;

2. 对频闪效应有限制的场合,应采用高频电子镇流器;

3. 镇流器的谐波、电磁兼容应符合现行国家标准《电磁兼容限值 谐波电流发射限值(设备每相输入电流≤16A)》(GB 17625.1—2012)和《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》(GB 17743—2007)的有关规定;

4. 高压钠灯、金属卤化物灯应配用节能电感镇流器;在电压偏差较大的场所,宜配用恒功率镇流器;功率较小者可配用电子镇流器。

3.3.7 高强度气体放电灯的触发器与光源的安装距离应满足现场使用的要求。

13.4 照明供电及照明控制的有关规定

13.4.1 照明电压

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

7.1.1 一般照明光源的电源电压应采用220V;1500W及以上的高强度气体放电灯的电源电压宜采用380V。

7.1.2 安装在水下的灯具应采用安全特低电压供电,其交流电压值不应大于12V,无纹波直流供电不应大于30V。

7.1.3- 当移动式和手提式灯具采用Ⅲ类灯具时,应采用安全特低电压(SELV)供电,其电压限值应符合下列规定:

1. 在干燥场所交流供电不大于50V,无纹波直流供电不大于120V;

2. 在潮湿场所不大于25V,无纹波直流供电不大于60V。

7.1.4 照明灯具的端电压不宜大于其额定电压的105%,且宜符合下列规定:

1. 一般工作场所不宜低于其额定电压的95%;

2. 当远离变电所的小面积一般工作场所难以满足第1款要求时,可为90%;

3. 应急照明和用安全特低电压(SELV)供电的照明不宜低于其额定电庄的90%。

13.4.2 照明配电系统

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

7.2.1 供照明用的配电变压器的设置应符合下列规定:

1. 当电力设备无大功率冲击性负荷时,照明和电力宜共用变压器。

2. 当电力设备有大功率冲击性负荷时,照明宜与冲击性负荷接自不同变压器;当需接自同一变压器时,照明应由专用馈电线供电。

3. 当照明安装功率较大或有谐波含量较大时，宜采用照明专用变压器。

7.2.2 应急照明的供电应符合下列规定：

1. 疏散照明的应急电源宜采用蓄电池（或干电池）装置，或蓄电池（或干电池）与供电系统中有效地独立于正常照明电源的专用馈电线路的组合，或采用蓄电池（或干电池）装置与自备发电机组组合的方式；

2. 安全照明的应急电源应和该场所的供电线路分别接自不同变压器或不同馈电干线，必要时可采用蓄电池组供电；

3. 备用照明的应急电源宜采用供电系统中有效地独立于正常照明电源的专用馈电线路或自备发电机组。

7.2.3 三相配电干线的各相负荷宜平衡分配，最大相负荷不宜大于三相负荷平均值的115%，最小相负荷不宜小于三相负荷平均值的85%。

7.2.4 正常照明单相分支回路的电流不宜大于16A，所接光源数或发光二极管灯具数不宜超过25个；当连接建筑装饰性组合灯具时，回路电流不宜大于25A，光源数不宜超过60个；连接高强度气体放电灯的单相分支回路的电流不宜大于25A。

7.2.5 电源插座不宜和普通照明灯接在同一分支回路。

7.2.6 在电压偏差较大的场所，宜设置稳压装置。

7.2.7 使用电感镇流器的气体放电灯应在灯具内设置电容补偿，荧光灯功率因数不应低于0.9，高强气体放电灯功率因数不应低于0.85。

7.2.8 在气体放电灯的频闪效应对视觉作业有影响的场所，应采用下列措施之一：

1. 采用高频电子镇流器；

2. 相邻灯具分接在不同相序。

7.2.9 当采用Ⅰ类灯具时，灯具的外露可导电部分应可靠接地。

7.2.10 当照明装置采用安全特低电压供电时，应采用安全隔离变压器，且二次侧不应接地。

7.2.11 照明分支线路应采用铜芯绝缘电线，分支线截面不应小于1.5mm^2。

7.2.12 主要供给气体放电灯的三相配电线路，其中性线截面应满足不平衡电流及谐波电流的要求，且不应小于相线截面。当3次谐波电流超过基波电流的33%时，应按中性线电流选择线路截面，并应符合现行国家标准《低压配电设计规范》（GB 50054—2011）的有关规定。

13.4.3 照明控制

《建筑照明设计标准》（GB 50034—2013）

规范引用

7.3.1 公共建筑和工业建筑的走廊、楼梯间、门厅等公共场所的照明，宜按建筑使用条件和天然采光状况采取分区、分组控制措施。

7.3.2 公共场所应采用集中控制，并按需要采取调光或降低照度的控制措施。

7.3.3 旅馆的每间（套）客房应设置节能控制型总开关；楼梯间、走道的照明，除应急疏散照明外，宜采用自动调节照度等节能措施。

7.3.4 住宅建筑共用部位的照明，应采用延时自动熄灭或自动降低照度等节能措施。当应急疏散照明采用节能自熄开关时，应采取消防时强制点亮的措施。

7.3.5 除设置单个灯具的房间外,每个房间照明控制开关不宜少于两个。

7.3.6 当房间或场所装设两列或多列灯具时,宜按下列方式分组控制:

1. 生产场所宜按车间、工段或工序分组;

2. 在有可能分隔的场所,宜按每个有可能分隔的场所分组;

3. 电化教室、会议厅、多功能厅、报告厅等场所,宜按靠近或远离讲台分组;

4. 除上述场所外,所控灯列可与侧窗平行。

7.3.7 有条件的场所,宜采用下列控制方式:

1. 可利用天然采光的场所,宜随天然光照度变化自动调节照度;

2. 办公室的工作区域,公共建筑的楼梯间、走道等场所,可按使用需求自动开关灯或调光;

3. 地下车库宜按使用需求自动调节照度;

4. 门厅、大堂、电梯厅等场所,宜采用夜间定时降低照度的自动控制装置。

7.3.8 大型公共建筑宜按使用需求采用适宜的自动(含智能控制)照明控制系统。其智能照明控制系统宜具备下列功能:

1. 宜具备信息采集功能和多种控制方式,并可设置不同场景的控制模式;

2. 当控制照明装置时,宜具备相适应的接口;

3. 可实时显示和记录所控照明系统的各种相关信息并可自动生成分析和统计报表;

4. 宜具备良好的中文人机交互界面;

5. 宜预留与其他系统的联动接口。

13.5 照度计算的基本方法

13.5.1 利用系数法计算平均照度

规范引用 《照明设计手册》(第二版)



1. 应用利用系数法计算平均照度的基本公式

$$E_{av}=\frac{N\cdot\phi\cdot U\cdot K}{A} \tag{13-1}$$

式中 E_{av}——工作面上的平均照度(lx);

ϕ——光源光通量(lm);

N——光源数量;

U——利用系数;

A——工作面面积(m^2);

K——灯具的维护系数。

2. 利用系数 U

利用系数是投射到工作面上的光通量与自光源发射出的光通量之比,可由式(13-2)计算。

$$U = \frac{\phi_1}{\phi} \tag{13-2}$$

式中 ϕ——光源的光通量(lm)；

ϕ_1——自光源发射，最后投射到工作面上的光通量(lm)。

3. 室内空间的表示方法

室内空间的划分如图 13-1 所示。

室空间比

$$\mathrm{RCR} = \frac{5h_r(1+b)}{lb} \tag{13-3}$$

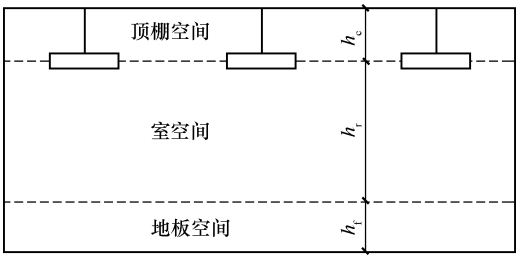


图 13-1 室内空间的划分

顶棚空间比

$$\mathrm{CCR} = \frac{5h_c(1+b)}{lb} = \frac{h_c}{h_r}RCR \tag{13-4}$$

地板空间比

$$\mathrm{FCR} = \frac{5h_f(1+b)}{lb} = \frac{h_t}{h_r}RCR \tag{13-5}$$

以上式中 l——室长(m)；

b——室宽(m)；

h_c——顶棚空间高(m)；

h_r——室空间高(m)；

h_f——地板空间高(m)。

当房间不是正六面体时，因为墙面积$=2h_r(l+b)$，地面积$=lb$，故式(13-3)可改写为

$$\mathrm{RCR} = \frac{2.5\ \text{墙面积}}{\text{地面积}} \tag{13-6}$$

4. 有效空间反射比和墙面平均反射比

为使计算简化，将顶棚空间视为位于灯具平面上，且具有有效反射比 ρ_{cc} 的假想平面。同样，将地板空间视为位于工作面上，且具有有效反射比 ρ_{fc} 的假想平面，光在假想平面上的反射效果同实际效果一样。有效空间反射比由式(13-7)、式(13-18)计算

$$\rho_{\mathrm{eff}} = \frac{\rho A_0}{A_s - \rho A_s + \rho A_0} \tag{13-7}$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{N}\rho_i A_i}{\sum_{i=1}^{N} A_i} \tag{13-8}$$

上两式中 ρ_{eff}——有效空间反射比；

A_0——空间开口平面面积(m^2)；

A_s——空间表面面积(m^2)；

ρ——空间表面平均反射比；

ρ_i——第 i 个表面反射比；

A_i——第 i 个表面面积(m^2)；

N——表面数量。

若已知空间表面(地板、顶棚或墙面)反射比(ρ_f、ρ_c或 ρ_w)及空间比，即可从事先算好的表上求出空间有效反射比。

为简化计算，把墙面看成一个均匀的漫射表面，将窗户或墙上的装饰品等综合考虑进来，求出墙面平均反射比来体现整个墙面的反射条件。墙面平均反射比由式(13-9)计算

$$\rho_{wav}=\frac{\rho_w(A_w-A_g)+\rho_g A_g}{A_w} \tag{5-47}$$

式中 A_w、ρ_w——墙的总面积(包括窗面积)(m^2)和墙面反射比；

A_g、ρ_g——玻璃窗或装饰物的面积(m^2)和玻璃窗或装饰物的反射比。

5. 利用系数(U)表

利用系数是灯具光强分布、灯具效率、房间形状、室内表面反射比的函数，计算比较复杂。为此常按一定条件编制灯具利用系数表(见表 13-33)以供设计使用。

查表时允许采用内插法计算。表 13-33 中所列的利用系数是在地板空间反射比为 0.1 时的数值，若地板空间反射比不是 0.1，则应用适当的修正系数进行修正。如计算精度要求不高，也可不作修正。

表 13-33 中有效顶棚反射比及墙面反射比均为零的利用系数，用于室外照明计算。

三、应用利用系数法计算平均照度的步骤

应用利用系数法计算平均照度的步骤如下：

第一步，填写原始数据；

第二步，由式(13-3)、式(13-4)、式(13-5)计算空间比；

第三步，由式(13-7)求有效顶棚空间反射比；

第四步，由式(13-9)计算墙面平均反射比；

第五步，查灯具维护系数(表 2-24)(原规范中)；

第六步，由利用系数表查利用系数；

第七步，由式(13-1)计算平均照度。

四、灯数概算曲线

根据式(13-1)，灯数可按式(13-10)计算

$$N=\frac{E_{av}A}{\phi UK} \tag{13-10}$$

表 13-33 利用系数表(U)JFC42848 型灯具 $L/h=1.63$

有效顶棚反射比/(%)	80				70				50				30				0
墙反射比/(%)	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	0
地面反射比/(%)	10				10				10				10				0
RCR/RI																	

续表

有效顶棚反射比/(%)	80				70				50				30				0
8.33/0.6	0.40	0.29	0.23	0.18	0.38	0.28	0.22	0.18	0.35	0.27	0.21	0.17	0.32	0.25	0.20	0.17	0.14
6.25/0.8	0.47	0.37	0.30	0.26	0.45	0.36	0.30	0.25	0.41	0.34	0.28	0.24	0.38	0.31	0.27	0.23	0.20
5.0/1.0	0.52	0.43	0.36	0.31	0.50	0.41	0.35	0.30	0.46	0.38	0.33	0.29	0.42	0.36	0.31	0.28	0.24
4.0/1.25	0.57	0.48	0.41	0.36	0.54	0.46	0.40	0.36	0.50	0.43	0.38	0.34	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29
3.33/1.5	0.60	0.52	0.46	0.41	0.58	0.50	0.44	0.40	0.53	0.47	0.42	0.38	0.49	0.44	0.40	0.36	0.32
2.50/2.0	0.65	0.58	0.52	0.47	0.62	0.56	0.51	0.46	0.57	0.52	0.48	0.44	0.53	0.49	0.45	0.42	0.38
2.0/2.5	0.68	0.62	0.56	0.52	0.65	0.60	0.55	0.51	0.60	0.56	0.52	0.48	0.56	0.52	0.49	0.46	0.41
1.67/3.0	0.70	0.64	0.60	0.56	0.67	0.62	0.58	0.51	0.62	0.58	0.55	0.52	0.58	0.55	0.52	0.49	0.44
1.25/4.0	0.72	0.68	0.64	0.61	0.70	0.66	0.62	0.59	0.65	0.62	0.59	0.56	0.61	0.58	0.56	0.53	0.48
1.0/5.0	0.74	0.70	0.67	0.64	0.72	0.68	0.65	0.62	0.67	0.64	0.62	0.59	0.63	0.60	0.58	0.56	0.51
0.714/7.0	0.76	0.73	0.71	0.68	0.74	0.71	0.69	0.67	0.69	0.67	0.65	0.63	0.65	0.63	0.61	0.60	0.54
0.5/10.0	0.78	0.76	0.74	0.72	0.76	0.74	0.72	0.70	0.71	0.69	0.68	0.66	0.67	0.65	0.64	0.63	0.57

式中符号的意义同前。

对于某种灯具，已知其光源的光通量，并假定照度是 100lx，房间的长宽比、表面的反射比及灯具吊挂高度固定，即可编制出灯数 N 与工作面面积关系曲线，称为灯数概算曲线。这些曲线使用便利，但计算精度稍差。

如所需照度值不是 100lx 时，则所求灯数可由式(13-11)计算

$$N = \text{由概算曲线上查出的灯数} \times \frac{\text{实际照度值}}{100} \tag{13-11}$$

13.5.2 点光源的点照度计算

规范引用 《照明设计手册》(第二版)

一、点光源点照度的基本计算公式

当光源尺寸与光源到计算点之间的距离相比小得多时，可将光源视为点光源。一般圆盘形发光体的直径不大于照射距离的 1/5，线状发光体的长度不大于照射距离的 1/4 时，按点光源进行照度计算误差均小于 5%。距离平方反比定律及余弦定律适用于点光源产生的点照度计算。这些定律是照明计算的基本公式。

1. 距离平方反比定律

点光源 S 在与照射方向垂直的平面 N 上产生的照度 E_n 与光源的光强 I_θ 成正比，与光源至被照面的距离 R 的平方成反比。由式(13-12)表示(见图 13-2)

$$E_n = \frac{I_\theta}{R^2} \tag{13-12}$$

式中 E_n——点光源在与照射方向垂直的平面上产生的照度(lx)；

I_θ——照射方向的光强(cd)；

R——点光源至被照面的计算点距离(m)。

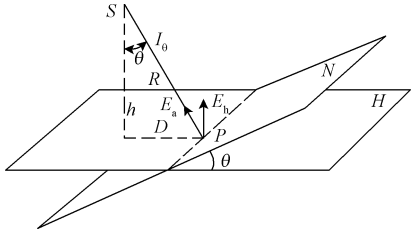


图 13-2 点光源的点照度

2. 余弦定律

点光源 S 照射在水平面 H 上产生的照度 E_h 与光源的光强 I_θ 及被照面法线与入射光线的夹角 θ 的余弦成正比,与光源至被照面计算点的距离 R 的平方成反比。可由式(13-13)表示

$$E_h = \frac{I_\theta}{R^2}\cos\theta \tag{13-13}$$

式中 E_h——点光源照射在水平面上 P 点产生的照度(lx);

I_θ——照射方向的光强(cd);

R——点光源至被照面计算点的距离(m);

$\cos\theta$——被照面的法线与入射光线的夹角的余弦。

二、点光源水平面和垂直面照度的计算

1. 点光源在水平面照度 E_h 的计算

按照余弦定律,点光源 S 的水平面照度 E_h(见图 13-3)可按式(13-3)计算。

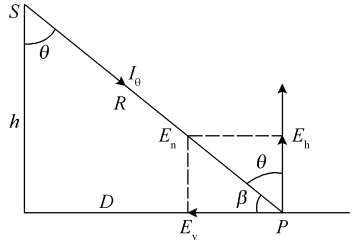


图 13-3 点光源水平面与垂直面照度

2. 点光源在垂直面照度 E_v 的计算

按照余弦定律,点光源 S 的垂直面照度 E_v(见图 13-3)为

$$E_v = \frac{I_\theta}{R^2}\cos\beta = \frac{I_\theta}{R^2}\sin\theta \tag{13-14}$$

3. E_h 和 E_v 应用光源安装高度 h 的计算

已知光源的安装高度(或计算高度)h 时,E_h 和 E_v 的计算式为

$$E_h = \frac{I_\theta}{R^2}\cos\theta = \frac{I_\theta\cos\theta}{\left(\frac{h}{\cos\theta}\right)^2} = \frac{I_\theta\cos^3\theta}{h^2} \tag{13-15}$$

$$E_v = \frac{I_\theta}{R^2}\sin\theta = \frac{I_\theta\cos\theta}{\left(\frac{h}{\cos\theta}\right)^2} = \frac{I_\theta\cos^2\theta\sin\theta}{h^2} \tag{13-16}$$

以上式中 h——光源距所计算水平面的安装高度,即计算高度(m);

其他符号含义同上。

4. E_h应用直角坐标的计算

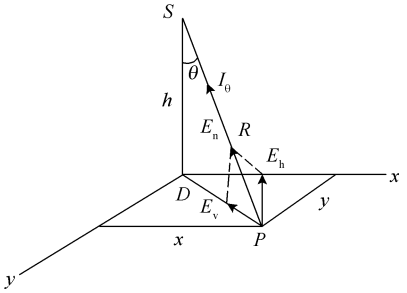


图 13-4 直角坐标中的点光源水平面照度

由图 13-4 可得

$$E_h = \frac{I_\theta \cos\theta}{R^2} = \frac{I_\theta h}{R^2 R} = \frac{I_\theta h}{R^3}$$

其中

$$R = (h^2 + D^2)^{\frac{1}{2}} = (h^2 + x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$E_h = \frac{I_\theta h}{(h^2 + x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \tag{13-17}$$

5. 点光源在不同平面上 P 点的法线方向照度之比

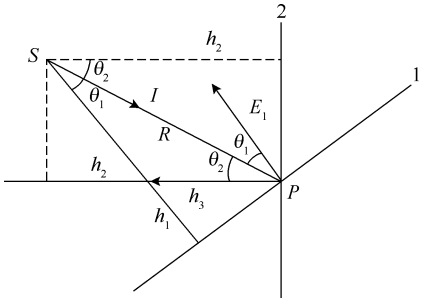


图 13-5 点光源在不同平面上 P 点的法线方向照度

点光源 S 在不同平面上 P 点的法线方向照度之比等于点光源 S 到该平面上的垂直线长度之比(见图 13-5),即

$$E_1 = \frac{I}{R^2}\cos\theta_1 ; E_2 = \frac{I}{R^2}\cos\theta_2$$

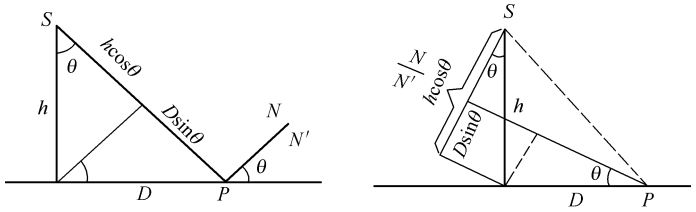
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} = \frac{\frac{h_1}{R}}{\frac{h_2}{R}} = \frac{h_1}{h_2} \tag{13-18}$$

三、点光源倾斜面照度计算

倾斜面在任意位置时,有受光面 N 和背光面 N'(见图 13-6)。θ 角指倾斜面的背光面与水平面形成的倾角,可小于或大于 90°。

按照式(13-18),在 P 点上的倾斜面照度 E_φ 与水平面照度 E_h 之比为

$$\frac{E_\varphi}{E_h} = \frac{h\cos\theta \pm D\sin\theta}{h}$$



(a) 受光面能受到光照射　　(b) θ角增大受光面变化

图 13-6　点光源倾斜面照度

因而点光源倾斜面照度 E_h 可由下式计算

$$E_\varphi = \left(\cos\theta \pm \frac{D}{h}\sin\theta\right)E_h = \psi E_h \tag{13-19}$$

式中　E_φ——倾斜面上 P 点的照度(lx)；

E_h——水平面上 P 点的照度(lx)；

h——光源至水平面上的计算高度(m)；

D——光源在水平面上的投影至倾斜面与水平面交线的垂直距离(m)；

ψ——比值。

$$\psi = \cos\theta \pm \frac{D}{h}\sin\theta \tag{13-20}$$

式(13-20)中正号表示图 13-6(a)的情况，负号表示图 13-6(b)的情况。ψ 值可在图 13-7 中查出，图 13-7 中虚线表示式(13-20)中负的 ψ 值。

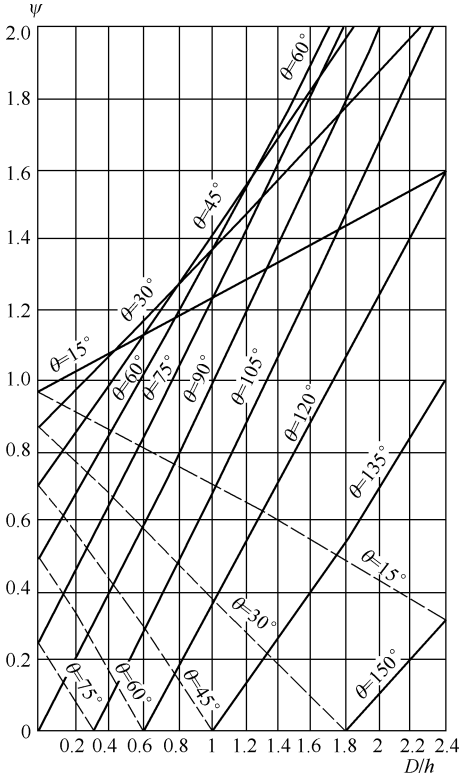


图 13-7　ψ 与 D/h 关系曲线

四、多光源下的点照度计算

多光源照射下在水平面或倾斜面上的点照度分别由式(13-21)和式(13-22)计算

$$E_{h\sum} = E_{h1} + E_{h2} + \cdots + E_{hn} = \sum_{i=1}^{n} E_{hi} \tag{13-21}$$

$$E_{\varphi\sum} = E_{\varphi 1} + E_{\varphi 2} + \cdots + E_{\varphi n} = \psi_1 E_{h1} + \psi_2 E_{h2} + \cdots + \psi_n E_{hn} = \sum_{i=1}^{n} \psi_i E_{hi} \tag{13-22}$$

以上式中 $E_{h\sum}$——多光源照射下在水平面上的点照度(lx)；

$E_{h1},\cdots,E_{h2},\cdots,E_{hn}$——各光源照射下在水平面上的点照度(lx)；

$E_{\varphi\sum}$——多光源照射下在倾斜面上的点照度(lx)；

$E_{\varphi 1},\cdots,E_{\varphi 2},\cdots E_{\varphi n}$——各光源照射下在倾斜面上的点照度(lx)。

五、点光源应用空间等照度曲线的照度计算

I_θ为光源的光强分布值，则水平照度 E_h 可由下式算出

$$E_h = \frac{I_\theta \cos^3\theta}{h^2}$$

$$E_h = f(h, D)$$

按此相互对应关系即可制成空间等照度曲线。通常 I_θ取光源光通量为 1000lm 时的光强分布值，则 RJ-GC888-D8-B(400W)型工矿灯具(内装 400W 金属卤化物灯)的空间等照度曲线如图 5-7 所示。

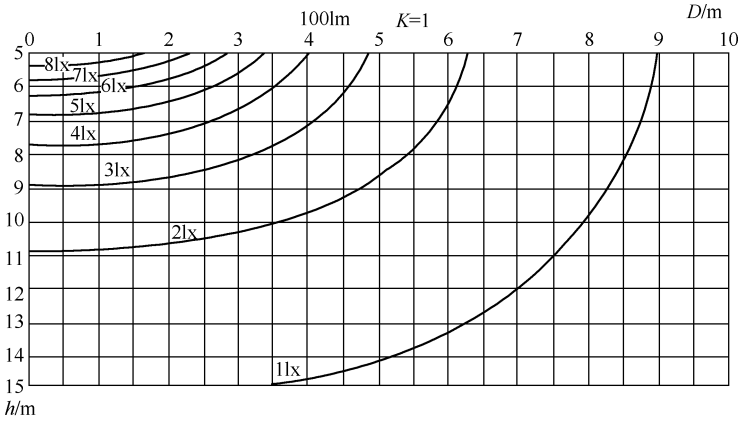


图 13-8 RJ-GC888-D8-B(400W)型工矿灯具
(内装 400W 金属卤化物灯)的空间等照度曲线

已知灯的计算高度 h 和计算点至灯具轴线的水平距离 D，应用等照度曲线可直接查出光源 1000lm 时的水平照度 ε。如光源光通量为 φ，灯具维护系数为 K，则计算点的实际水平照度为

$$E_h = \frac{\phi \varepsilon K}{1000} \tag{13-23}$$

则计算点的垂直平面上的照度为

$$E_v = \frac{D}{h} E_h \tag{13-24}$$

计算点的倾斜面上的照度为

$$E_\varphi = E_h\left(\cos\theta \pm \frac{D}{h}\sin\theta\right) = \psi E_h \tag{13-25}$$

当有多个相同灯具投射到同一点时,其实际水平面照度可按式(13-26)计算

$$E_h = \frac{\phi \sum \varepsilon K}{1000} \tag{13-26}$$

式中 ϕ——光源的光通量(lm);

$\Sigma\varepsilon$——各灯(1000lm)对计算点产生的水平照度之和(lx);

K——灯具的维护系数。

13.6 照明工程节能标准及措施

13.6.1 一般规定

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)



6.1.1 应在满足规定的照度和照明质量要求的前提下,进行照明节能评价。

6.1.2 照明节能应采用一般照明的照明功率密度值(LPD)作为评价指标。

6.1.3 照明设计的房间或场所的照明功率密度应满足《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)第6.3节规定的现行值的要求,《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)规定的目标值执行要求应由国家现行有关标准或相关主管部门规定。

13.6.2 照明节能措施

13.6.2.1 一般规定

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)



6.2.1 选用的照明光源、镇流器的能效应符合相关能效标准的节能评价值。

6.2.2 照明场所应以用户为单位计量和考核照明用电量。

6.2.3 一般场所不应选用卤钨灯,对商场、博物馆显色要求高的重点照明可采用卤钨灯。

6.2.4 一般照明不应采用荧光高压汞灯。

6.2.5 一般照明在满足照度均匀度条件下,宜选择单灯功率较大、光效较高的光源。

6.2.6 当公共建筑或工业建筑选用单灯功率小于或等于25W的气体放电灯时,除自镇流荧光灯外,其镇流器宜选用谐波含量低的产品。

6.2.7 下列场所宜选用配用感应式自动控制的发光二极管灯:

1. 旅馆、居住建筑及其他公共建筑的走廊、楼梯间、厕所等场所;
2. 地下车库的行车道、停车位;
3. 无人长时间逗留,只进行检查、巡视和短时操作等工作的场所。

规范引用 《照明设计手册》(第二版) P530



二、合理选择照明方式

1. 尽量采用混合照明

在照明要求高,但作业密度又不大的场所,若只装设一般照明,会大大增加照明安装功率,因而不节能,应采用混合照明方式,即用局部照明来提高作业面的照度,以节约能源,在技术经济方面是合理的。

2. 采用分区一般照明

在同一场所不同区域有不同照度要求时,为节约能源,贯彻所选照度在该区该高则高和该低则低的原则,应采用分区一般照明方式。

3. 采用加强照明

在高大的房间或场所可采用一般照明与加强照明相结合的方式,在上部设一般照明,在柱子或墙壁下部装壁灯照明,比单独采用一般照明更节能。

4. 采用高强度气体放电灯(HID 灯)的间接照明

因 HID 灯光通量大、发光体积小,在低空间易产生照度不均匀和眩光。利用灯具将光线投向顶棚,再从顶棚反射到工作面上,没有照度不均匀、眩光和光幕反射等问题,照明质量提高,也不失为一种节电的照明方式。

5. 在设备上装灯

照明灯具安装在设备或家具上,近距离照射,可提高照度,也是一种节能方式,还可采用高灯低挂的方式来节能。

三、推广使用高光效照明光源

光源光效由高向低排序为低压钠灯、高压钠灯、金属卤化物灯,三基色荧光灯、普通荧光灯、紧凑型荧光灯、高压汞灯、卤钨灯、普通白炽灯。

除光效外,还要考虑显色性、色温、使用寿命、性能价格比等技术参数指标,在合适的基础上选择光源。

为节约电能,合理选用光源的主要措施如下。

1. 要尽量减少白炽灯的使用量

白炽灯因其安装使用方便,价格低廉,目前在国际上以及我国的生产和使用量仍占照明光源的首位,但因其光效低、寿命短、耗电高,应尽量减少其使用量。一般情况下,室内外照明不应采用普通照明白炽灯,在特殊情况下需采用时,不应采用 100W 以上的白炽灯泡。最好采用光效稍高的双螺旋白炽灯、充氪白炽灯、涂反射层白炽灯或小功率卤钨灯。在防止电磁干扰、开关频繁、照度要求不高、点燃时间短和对装饰有特殊要求的场所,可采用白炽灯。

2. 推广使用细管径(≤26mm)的 T8 或 T5 直管形荧光灯或紧凑型荧光灯

细管径直管形荧光灯光效高、启动快、显色性好,适用于办公室、教室、会议室、商店及仪表、电子等生产场所,特别是要推广使用稀土三基色荧光灯,因为我国照明标准对长时间有人的房间要求其显色指数大于 80。T5 灯在欧洲一些国家的应用已占荧光灯的 70%。荧光灯适用于较低(4～4.5m)的房间。选用细管径荧光灯比粗管径荧光灯节电约 10%。

选用中间色温 4000K 直管形荧光灯比 6200K 高色温直管形荧光灯约节电 12%。紧凑型荧光灯光效较高、寿命长、显色性较好,用它取代白炽灯,可节约电能。

3. 积极推广高光效、长寿命的金属卤化物灯和高压钠灯

金属卤化物灯具有光效高、寿命长、显色性好等特点,因而其应用量日益增长,特别适用于有显色性要求的高大(高于6m)厂房。采用高压钠灯光效更高,寿命更长,价格较低,但其显色性差,可用于辨色要求不高的场所,如锻工车间、炼铁车间、仓库等。

4. 逐步减少高压汞灯的使用量

因高压汞灯光效较低、寿命也不太长、显色指数不高,故今后不宜大量推广使用,要减少使用量。不应采用光效低的自镇流高压汞灯。

5. 扩大发光二极管(LED)的应用

LED的特点是寿命长、光利用率高、耐振、温升低、低电压、显色性好和节电。适用于装饰照明、建筑夜景照明、标志或广告照明、应急照明及交通信号灯等。目前5W的LED,其光效达30～40lm/W,具有广阔的应用前景,是照明光源的革命性飞跃。

6. 选用符合节能评价值的光源

目前我国已制定了双端荧光灯、单端荧光灯、自镇流荧光灯、高压钠灯以及金属卤化物灯的能效标准,在选用照明光源时,应选用符合节能评价值的光源,以满足节能的要求。

四、推广高效率节能灯具

推广高效率节能灯具的具体措施如下。

1. 选用高效率灯具

在满足眩光限制和配光要求条件下,荧光灯灯具效率不应低于:开敞式的为75%、带透明保护罩的为65%、带磨砂或棱镜保护罩的为55%和带格栅的为60%。高强度气体放电灯灯具效率不应低于:开敞式的为75%、格栅或透光罩的为60%、常规道路照明灯具不应低于70%、泛光灯具不应低于65%。

2. 选用控光合理的灯具

根据使用场所的条件,采用控光合理的灯具。如蝙蝠翼式配光灯具、块板式高效灯具等,块板式灯具可提高灯具效率5%～20%。

3. 选用光通量维持率好的灯具

如选用涂二氧化硅保护膜、反射器采用真空镀铝工艺和蒸镀银光学多层膜反射材料以及采用活性碳过滤器等,以提高灯具效率。

4. 选用灯具光利用系数高的灯具

使灯具发射出的光通量最大限度地落在工作面上,利用系数值取决于灯具效率、灯具配光、室空间比和室内表面装修色彩等。

5. 尽量选用不带附件的灯具

灯具所配带的格栅、棱镜、乳白玻璃罩等附件引起光输出的下降,灯具效率降低约50%,电能消耗增加,不利于节能,因此最好选用开敞式直接型灯具。

6. 采用照明与空调一体化灯具

采用此灯具的目的在于在夏季时将灯所产生的热量可排出50%～60%,以减少空调制冷负荷20%;在冬季利用灯所排出的热量,以降低供暖负荷。利用此灯具,约可节能10%。

五、积极推广节能型镇流器

目前我国绝大多数气体放电灯使用传统型电感镇流器,其优点是寿命长、可靠性高和价格相对低廉,而其缺点是体积大、重量重、自身功率损耗大,约为灯功率的20%～25%,有噪声、功率因数低、灯频闪等,是一种不节能的镇流器。

电子镇流器的优点是节能,其自身功耗低,只有3～5W的功耗,高功率因数、灯光效率

高、重量轻、体积小、启动可靠、无频闪、无噪声、可调光、允许电压偏差大等。缺点是价格相对较高，其质量已大有提高，已推广应用。

节能型电感镇流器采用低耗材料，其能耗介于传统型和电子型之间，目前在我国有较大的应用前景。

六、照明配电应控制节能

(1)过高的电压将使照度过分提高，会导致光源使用寿命降低和能耗过分增加，不利于节能；而过低的电压，使照度降低，影响照明质量。照明灯具的端电压不宜大于其额定电压的105%，一般工作场所不宜低于其额定电压的95%。

(2)气体放电灯配电感镇流器时，应设置电容补偿，以提高功率因数到0.9。有条件时，宜在灯具内装设补偿电容，以降低线路能耗和电压损失。

(3)三相配电干线的各相负荷宜分配平衡，最大相线负荷不宜超过三相负荷平均值的115%，最小相线负荷不小于平均值的85%。

(4)照明配电干线和分支线应采用铜芯，分支线截面不应小于1.5mm^2，有利于用电安全，提高可靠性，同时降低线路电能损耗。

(5)公共建筑和工业建筑的公共场所，宜采用集中控制，为了节能，宜按建筑使用条件和天然光状况分区、分组控制。

(6)体育馆、影剧院、候机厅、报告厅等公共场所应采用集中控制，并按需要采取调光或降低照度的控制措施。

旅馆的每套或每间客房应装设独立的总开关，控制全部照明，并宜采用钥匙或门卡锁式节能开关。

居住建筑有天然采光的楼梯间、走道的照明，除应急照明外，宜采用节能自熄开关。

每个照明开关所控光源数不宜太多。每个房间的灯开关数不宜少于2个(只设1盏灯的除外)。

房间或场所装设两列或多列灯具时，所控灯列与侧窗平行；生产场所按车间、工段或工序分组；电化教室、会议厅、多功能厅、报告厅等场所按靠近或远离讲台分组。

天然采光良好的场所，应按场所照度自动开关灯或调光；个人使用的办公室采用人体感应或动静感应等方式自动开关灯；旅馆门厅、电梯大堂和客房层走廊等场所，采用夜间定时降低照度的自动调节；大中型建筑可采用集中或集散、多功能或单一功能的自动控制系统。

分户计算用电量，有利于节电。建立照明运行和维护管理控制。

七、建筑环境与节能

天然光取之不尽，用之不竭。在可能的条件下，应尽可能积极利用天然光能，以节约电能，其主要措施如下：

(1)房间的采光系数或采光窗地面积比应符合《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013)的规定；

(2)室内的天然光照度，随室外天然光的变化，宜自动调解人工照明照度；

(3)有条件时宜利用各种导光和反光装置，将天然光引入室内进行照明；

(4)有条件时宜利用太阳能作为能源；

(5)提高室内各表面的反射比，以提高照度，节约电能。

13.6.2.2 天然光利用

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

6.4.1 房间的采光系数或采光窗地面积比应符合现行国家标准《建筑采光设计标准》(GB 50033—2013)的有关规定。

6.4.2 当有条件时,宜利用各种导光和反光装置将天然光引入室内进行照明。

6.4.3 宜利用太阳能作为照明能源。

13.6.3 照明功率密度限值

规范引用 《建筑照明设计标准》(GB 50034—2013)

6.3.1 住宅建筑每户照明功率密度限值宜符合表13-34的规定。

表13-34 住宅建筑每户照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
起居室	100	≤6.0	≤5.0
卧室	75		
餐厅	150		
厨房	100		
卫生间	100		
职工宿舍	100	≤4.0	≤3.5
车库	30	≤2.0	≤1.8

6.3.2 图书馆建筑照明功率密度限值应符合表13-35的规定。

表13-35 图书馆建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
一般阅览室、开放式阅览室	300	≤9.0	≤8.0
目录厅(室)、出纳室	300	≤11.0	≤10.0
多媒体阅览室	300	≤9.0	≤8.0
老年阅览室	500	≤15.0	≤13.5

6.3.3 办公建筑和其他类型建筑中具有办公用途场所的照明功率密度限值应符合表13-36的规定。

表13-36 办公建筑和其他类型建筑中具有办公用途场所的照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
普通办公室	300	≤9.0	≤8.0

续表

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
高档办公室、设计室	500	≤15.0	≤13.5
会议室	300	≤9.0	≤8.0
服务大厅	300	≤11.0	≤10.0

6.3.4 商店建筑照明功率密度限值应符合表13-37的规定。当商店营业厅、高档商店营业厅、专卖店营业厅需装设重点照明时，该营业厅的照明功率密度限值应增加5W/m²。

表13-37 商店建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
一般商店营业厅	300	≤10.0	≤9.0
高档商店营业厅	500	≤16.0	≤14.5
一般超市营业厅	300	≤11.0	≤10.0
高档超市营业厅	500	≤17.0	≤15.5
专卖店营业厅	300	≤11.0	≤10.0
仓储超市	300	≤11.0	≤10.0

6.3.5 旅馆建筑照明功率密度限值应符合表13-8的规定。

表13-8 旅馆建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
客房	—	≤7.0	≤6.0
中餐厅	200	≤9.0	≤8.0
西餐厅	1500	≤6.5	≤5.5
多功能厅	300	≤13.5	≤12.0
客房层走廊	50	≤4.0	≤3.5
大堂	200	≤9.0	≤8.0
会议室	300	≤9.0	≤8.0

6.3.6 医疗建筑照明功率密度限值应符合表13-9的规定。

表13-9 医疗建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
治疗室、诊室	300	≤9.0	≤8.0
化验室	500	≤15.0	≤13.5
候诊室、挂号厅	200	≤6.5	≤5.5
病房	100	≤5.0	≤4.5

续表

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
护士站	300	≤9.0	≤8.0
药房	500	≤15.0	≤13.5
走廊	100	≤4.5	≤4.0

6.3.7 教育建筑照明功率密度限值应符合表13-40的规定。

表13-40 教育建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
教室、阅览室	300	≤9.0	≤8.0
实验室	300	≤9.0	≤8.0
美术教室	500	≤15.0	≤13.5
多媒体教室	300	≤9.0	≤8.0
计算机教室、电子阅览室	500	≤15.0	≤13.5
学生宿舍	150	≤5.0	≤4.5

6.3.8 博览建筑照明功率密度限值应符合下列规定：

1. 美术馆建筑照明功率密度限值应符合表13-41的规定；
2. 科技馆建筑照明功率密度限值应符合表13-42的规定；
3. 博物馆建筑其他场所照明功率密度限值应符合表13-43的规定。

表13-41 美术馆建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
会议报告厅	300	≤9.0	≤8.0
美术品售卖区	300	≤9.0	≤8.0
公共大厅	200	≤9.0	≤8.0
绘画展厅	100	≤5.0	≤4.5
雕塑展厅	150	≤6.5	≤5.5

表13-42 科技馆建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
科普教室	300	≤9.0	≤8.0
会议报告厅	300	≤9.0	≤8.0
纪念品售卖区	300	≤9.0	≤8.0
儿童乐园	300	≤10.0	≤8.0
公共大厅	200	≤9.0	≤8.0
常设展厅	200	≤9.0	≤8.0

表 13-43 博物馆建筑其他场所照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
会议报告厅	300	≤9.0	≤8.0
美术制作室	500	≤15.0	≤13.5
编目室	300	≤9.0	≤8.0
藏品库房	75	≤4.0	≤3.5
藏品提看室	150	≤5.0	≤4.5

6.3.9 会展建筑照明功率密度限值应符合表 13-44 的规定。

表 13-44 会展建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
会议室、洽谈室	300	≤9.0	≤8.0
宴会厅、多功能厅	300	≤13.5	≤12.0
一般展厅	200	≤9.0	≤8.0
高档展厅	300	≤13.5	≤12.0

6.3.10 交通建筑照明功率密度限值应符合表 13-45 的规定。

表 13-45 交通建筑照明功率密度限值

房间或场所		照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
			现行值	目标值
候车(机、船)室	普通	150	≤7.0	≤6.0
	高档	200	≤9.0	≤8.0
中央大厅、售票大厅		200	≤9.0	≤8.0
行李认领、到达大厅、出发大厅		200	≤9.0	≤8.0
地铁站厅	普通	100	≤5.0	≤4.5
	高档	200	≤9.0	≤8.0
地铁进出站门厅	普通	150	≤6.5	≤5.5
	高档	200	≤9.0	≤8.0

6.3.11 金融建筑照明功率密度限值应符合表 13-46 的规定。

表 13-46 金融建筑照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
		现行值	目标值
营业大厅	200	≤9.0	≤8.0
交易大厅	300	≤13.5	≤12.0

6.3.12 工业建筑非爆炸危险场所照明功率密度限值应符合表 13-47 的规定。

表 13-47 工业建筑非爆炸危险场所照明功率密度限值

房间或场所		照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
			现行值	目标值
1. 机、电工业				
机械加工	粗加工	200	≤7.5	≤6.5
	一般加工公差≥0.1mm	300	≤11.0	≤10.0
	精密加工公差<0.1mm	500	≤17.0	≤15.0
机电、仪表装配	大件	200	≤7.5	≤6.5
	一般件	300	≤11.0	≤10.0
	精密	500	≤17.0	≤15.0
	特精密	750	≤24.0	≤22.0
电线、电缆制造		300	≤11.0	≤10.0
线圈绕制	大线圈	300	≤11.0	≤10.0
	中等线圈	500	≤17.0	≤15.0
	精细线圈	750	≤24.0	≤22.0
线圈浇注		300	≤11.0	≤10.0
焊接	一般	200	≤7.5	≤6.5
	精密	300	≤11.0	≤10.0
钣金		300	≤11.0	≤10.0
冲压、剪切		300	≤11.0	≤10.0
热处理		200	≤7.5	≤6.5
铸造	熔化、浇铸	200	≤9.0	≤8.0
	造型	300	≤13.0	≤12.0
精密铸造的制模、脱壳		500	≤17.0	≤15.0
锻工		200	≤8.0	≤7.0
电镀		300	≤13.0	≤12.0
酸洗、腐蚀、清洗		300	≤15.0	≤14.0
抛光	一般装饰性	300	≤12.0	≤11.0
	精细	500	≤18.0	≤16.0
复合材料加工、铺叠、装饰		500	≤17.0	≤15.0
机电修理	一般	200	≤7.5	≤6.5
	精密	300	≤11.0	≤10.0
2. 电子工业				
整机类	整机厂	300	≤11.0	≤10.0
	装配厂房	300	≤11.0	≤10.0
元器件类	微电子产品及集成电路	500	≤18.0	≤16.0
	显示器件	500	≤18.0	≤16.0
	印制线路板	500	≤18.0	≤16.0
	光伏组件	300	≤11.0	≤10.0

续表

房间或场所		照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
			现行值	目标值
元器件类	电真空器件、机电组件等	500	≤18.0	≤16.0
电子材料类	半导体材料	300	≤11.0	≤10.0
	光纤、光缆	300	≤11.0	≤10.0
酸、碱、药液及粉配制		300	≤13.0	≤12.0

6.3.13 公共和工业建筑非爆炸危险场所通用房间或场所照明功率密度限值应符合表13-48的规定。

表13-48 公共和工业建筑非爆炸危险场所通用房间或场所照明功率密度限值

房间或场所		照度标准值/lx	照明功率密度限值/(W/m²)	
			现行值	目标值
走廊	一般	50	≤2.5	≤2.0
	高档	100	≤4.0	≤3.5
厕所	一般	75	≤3.5	≤3.0
	高档	150	≤6.0	≤5.0
试验室	一般	300	≤9.0	≤8.0
	精细	500	≤15.0	≤13.5
检验	一般	300	≤9.0	≤8.0
	精细,有颜色要求	750	≤23.0	≤21.0
计量室、测量室		500	≤15.0	≤13.5
控制室	一般控制室	300	≤9.0	≤8.0
	主控制室	500	≤15.0	≤13.5
电话站、网络中心、计算机站		500	≤15.0	≤13.5
动力站	风机房、空调机房	100	≤4.0	≤3.5
	泵房	100	≤4.0	≤3.5
	冷冻站	150	≤6.0	≤5.0
	压缩空气站	150	≤6.0	≤5.0
	锅炉房、煤气站的操作层	100	≤5.0	≤4.5
仓库	大件库	50	≤2.5	≤2.0
	一般件库	100	≤4.0	≤3.5
	半成品库	150	≤6.0	≤5.0
	精细件库	200	≤7.0	≤6.0
公共车库		50	≤2.5	≤2.0
车辆加油站		100	≤5.0	≤4.5

6.3.14 当房间或场所的室形指数值等于或小于1时,其照明功率密度限值应增加,但增加值不应超过限值的20%。

6.3.15 当房间或场所的照度标准值提高或降低一级时,其照明功率密度限值应按比例提高或折减。

6.3.16 设装饰性灯具场所,可将实际采用的装饰性灯具总功率的50%计入照明功率密度值的计算。

14 电气传动

14.1 电气传动系统的组成及分类

14.1.1 电动机

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

2.1.1 电动机

1. 电动机的类型及其自然机械特性

电动机的类型如下：

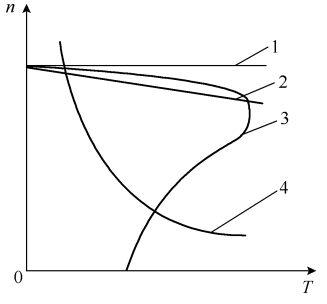
- 交流电动机
 - 直流电动机
 - 励磁直流电动机
 - 他励电动机
 - 串励电动机
 - 复励电动机
 - 永磁直流电动机(小功率)
 - 异步电动机
 - 笼型电动机
 - 绕线转子电动机
 - 同步电动机
 - 普通同步电动机
 - 励磁式
 - 永磁式
 - 无换向器电动机
 - 磁阻电动机

各种电动机的机械特性见图 14-1。

各类电动机机械特性计算公式及主要性能见表 14-1。

2. 电动机的外壳结构形式

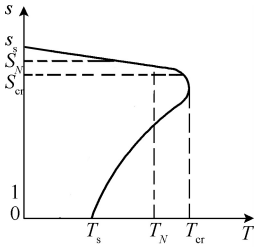
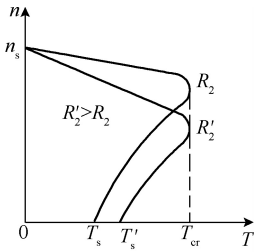
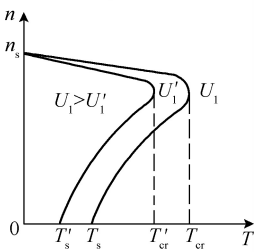
有开启式、防护式、防滴防溅式、封闭式、防爆式、密闭式六种。而密闭式又分为自然冷却式、管道通风式、自冷式(外部有风扇)。



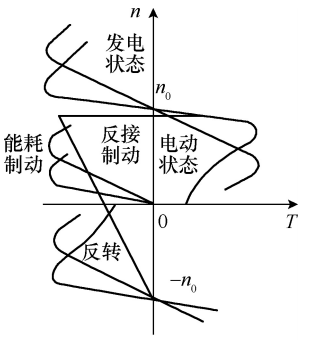
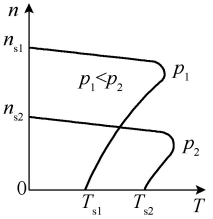
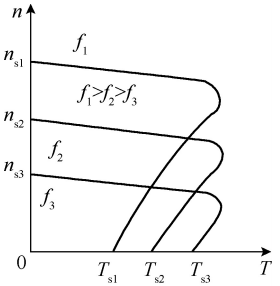
1—同步电动机；2—他励直流电动机；3—异步电动机；4—串励直流电动机

图 14-1 电动机的自然机械特性

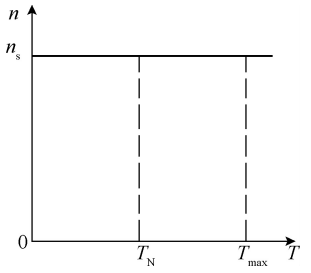
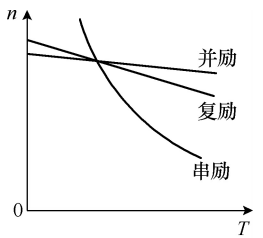
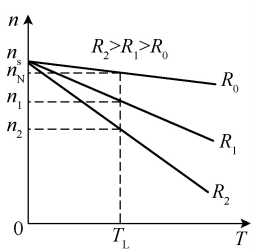
表 14-1　电动机的机械特性

类型		特性公式	符号	特性曲线	性能
交流电动机	异步电动机	$P = m_1 U_1 I_1 \cos\varphi$ $T = \dfrac{m_1}{\omega_s} \dfrac{U_1^2 r_2' s}{(r_1 s + r_2')^2 + s^2 x_k^2}$ $s_{cr} = \dfrac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}$ $x_k = x_1 + x_2'$ $T_{cr} = \dfrac{m_1 U_1^2}{2\omega_g(\sqrt{r_1^2 + x_k^2} + r_1)}$ $T = \dfrac{2T_{cr}(1+q)}{\dfrac{s}{s_{cr}} + \dfrac{s_{cr}}{s} + 2q}$ $s_{cr} = s_N(\lambda_T + \sqrt{\lambda_T^2 - 1})$ $\lambda_T = \dfrac{T_{cr}}{T_N}$ $T_s = \dfrac{m_1}{\omega_s} \dfrac{U_1^2 r_2'}{(r_1 + r_2')^2 + x_k^2}$ $s = \dfrac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$	P—— 电磁功率(kW)； m_1—— 相数； U_1—— 定子相电压(V)； I_1—— 定子相电流(A)； $\cos\varphi$—— 功率因数； T—— 电磁转矩(N·m)； r_1—— 定子相电阻(Ω)； r_2'—— 折算到定子侧的转子相电阻(Ω)； x_1—— 定子电抗(Ω)； x_2'—— 折合到定子侧的转子电抗(Ω)； x_k—— 短路电抗(Ω)；	 自然特性  不同转子电阻 (U_1=常数)  不同电源电压 (R_2=常数)	笼型电动机：简单、耐用、可靠、易维护、价格低、特性硬，但启动和调速性能差，轻载时功率因数低。一般无调速要求的机械广泛采用。在变频电源供电下可平滑调速。变级数多速电动机，可分级变速调节，但体积大，价格较贵

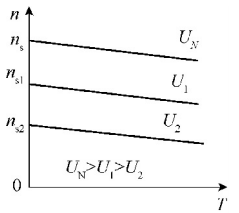
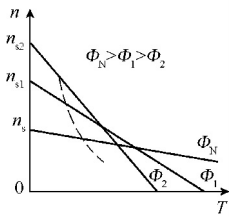
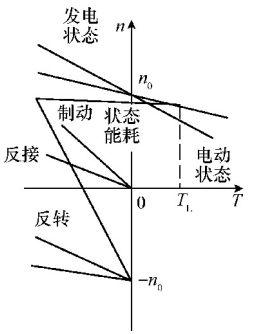
续表

类型		特性公式	符号	特性曲线	性能
交流电动机	异步电动机	$\omega_s=\dfrac{2\pi n_s}{60}$ $n_s=\dfrac{60f_1}{p}$ $q=\dfrac{r_1}{\sqrt{r_1^2+x_1^2}}$ 大型电动机的 r_1 很小，可以忽略，则有 $s_{cr}\approx\dfrac{r'_2}{x_k}$ $T_{cr}\approx\dfrac{m_1U_1^2}{2\omega_s x_k}$ $T\approx\dfrac{2T_{cr}}{\dfrac{s}{s_{cr}}+\dfrac{s_{cr}}{s}}$ $T_s\approx\dfrac{m_1}{\omega_s}\dfrac{U_1^2r'_2}{r'^2_2+x_k^2}$	s—— 转差率； s_N—— 额定转差率； s_{cr}—— 临界转差率； λ_T—— 转矩过载倍数； T_N—— 额定转矩(N·m)； T_{cr}—— 临界转矩(N·m)； T_s—— 启动转矩(N·m)； ω—— 角速度(1/s)； ω_s—— 同步角速度(1/s)； n_s—— 同步转速(r/min)； f_1—— 供电频率(Hz)； p—— 磁极对数； q—— 系数	 各种运行状态  不同极对数  不同供电频率 (当U_1/f=常数)	绕线转子电动机：因有集电环，比笼型电动机维护较麻烦，价格也稍贵，但由于它启动转矩大，启动时功率因数高，且可进行小范围的速度调节，控制设备简单，故广泛用于各种生产机械，尤其用于电网容量小，启动次数多的机械，如提升机、起重机及轧钢机械等

续表

类型		特性公式	符号	特性曲线	性能
交流电动机	同步电动机	$n_s = \dfrac{60f}{p}$ $T_s = \dfrac{9.55m_1U_1E_0}{n_s x_s}\sin\theta$ $T_{max} = \dfrac{9.55m_1U_1E_0}{n_s x_s}$	E_0—— 空载电动势(V)； θ—— 电动势与电压的相角差； T_s—— 同步转矩(N·m)； x_s—— 同步电抗(Ω)		一般不调速，也可变频调速
直流电动机		$E = K_e\Phi_n = C_e n$ $K_e = \dfrac{pN}{60\alpha}$ $T = K_T\Phi I_a = C_T I_a$ $K_T = \dfrac{K_e}{1.03}$	E—— 反电动势(V)； Φ—— 磁通(Wb)； K_e—— 电动机电动势结构常数； K_T—— 电动机转矩结构常数； N—— 电枢绕组的导体总数； α—— 电枢绕组的支路对数； I_a—— 电枢电流(A)； U—— 电枢电压(A)； T—— 电磁转矩(N·m)； R_a—— 电枢电阻(Ω)；	  他励电动机改变 电枢回路附加电阻	调速性能好，范围宽，采用电子控制下，能充分适应各种机械负载特性的需要，但它的价格贵、维护复杂，且需直流电源，因此只在交流电动机不能满足调速要求时才采用它

续表

类型	特性公式	符号	特性曲线	性能
直流电动机	$n=\dfrac{U-I_a(R_a+R)}{K_e\Phi}$ $n_s=\dfrac{U}{K_e\Phi}$ $n=\dfrac{U}{K_e\Phi}-\dfrac{R_a+R}{K_eK_T\Phi^2}T$ $T_N=9550\dfrac{P_N}{n_N}$	R—— 电枢回路附加电阻(Ω)； T_N—— 额定转矩(N·m)； T_L—— 负载转矩(N·m)； P_N—— 额定功率(kW)； C_e—— 电动机电动势常数； C_T—— 电动机转矩常数 。	 他励电动机改变电枢端电压  他励电动机改变励磁(虚线为恒功率调速) 	串励直流电动机的特点是启动转矩大、过载能力大、特性软，适用于电力牵引机械和起重机等。 复励直流电动机的启动转矩和过载能力比并励直流电动机大，但调速范围稍窄。接成积复励时，适用于启动转矩很大，负载具有强烈变化的设备上

14.1.2 电源装置

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)



电动机的电源装置分母线供电装置、机组变流装置及电力电子变流装置三大类。

(1)母线供电装置(与电气控制系统配合使用)可分为

1)交流母线。

2)直流母线。

(2)机组变流装置可分为

1)直流发电机组,20 世纪 70 年代以前广泛使用,随着电力电子技术发展已逐步淘汰。

2)变频机组。

(3)电力电子变流装置按变流种类可分为

1)整流。

2)交流调压。

3)变频,又分成交－直－交间接变频和交－交直接变频两类。

(4)电力电子变流装置按使用的器件可分为

1)汞弧整流器,在 20 世纪 60～70 年代以前盛行,现已淘汰。

2)普通晶闸管。

3)新型自关断器件,如门极关断(GTO)晶闸管、IGCT、IEGT 等适用于中压几百千瓦至兆瓦功率等级(GTO 晶闸管已被 IGCT 和 IEGT 所取代);电力晶体管(BJT)、IGBT 适用于几千瓦至兆瓦功率等级(BJT 已被 IGBT 所取代);电力场效应晶体管(POWER MOSFET)适用几千瓦以下功率等级;其他还有静电感应晶体管(SIT)和静电感应晶闸管(SITH)等,主要用于高频变换等。

14.1.3 电气传动控制系统

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)



1. 电气传动控制系统按所用的器件分

(1)电器控制:又称继电器－接触器控制,与母线供电装置配合使用。

(2)电机扩大机和磁放大器控制:与机组供电装置配合使用,在 20 世纪 30～60 年代盛行,随电子技术发展,已逐步淘汰。

(3)电子控制装置又分为电子管控制装置(在 20 世纪 40～60 年代,少数传动设备用过,已淘汰)和半导体控制装置(又有分立器件、中小规模集成电路及微机和专用大规模集成电路等几代产品)。

2. 电气传动控制系统按工作原理分

(1)逻辑控制:通过电气控制装置控制电动机启动、停止、正反转或有级变速,控制信号来自主令电器或可编程序控制器。

(2)连续速度调节:与机组或电力电子变流装置配合使用,连续改变电动机转速。这类系统按控制原则分开环控制、闭环控制及复合控制三类。按控制信号的处理方法分模拟控

制、数字控制及模拟/数字混合控制三类。

直流连续速度调节一般都采用双环线路,交流调速常用线路有:电压/频率比控制、转差频率控制、矢量控制和直接转矩控制。

14.1.4 生产机械的负载类型

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

2.2.1 生产机械的负载类型

生产机械的负载转矩 T_L 随转速 n 而变化的特性[$T_L=f(n)$]称为负载特性,通常有以下三种类型。

1. 恒转矩负载

负载转矩 T_L 与转速 n 无关,在任何转速下,T_L 总保持恒定或大致恒定,这类负载称为恒转矩负载,它多数呈反抗性,即 T_L 的极性随转速方向的改变而改变,总是起反阻转矩作用,见图 14-2a。轧钢机、造纸机、运输机、机床等均属于此类负载,还有一种位势性转矩负载,T_L 的极性不随转速方向的改变而改变,见图 14-2b,电梯、卷扬机、起重机的提升机构均属于此类。

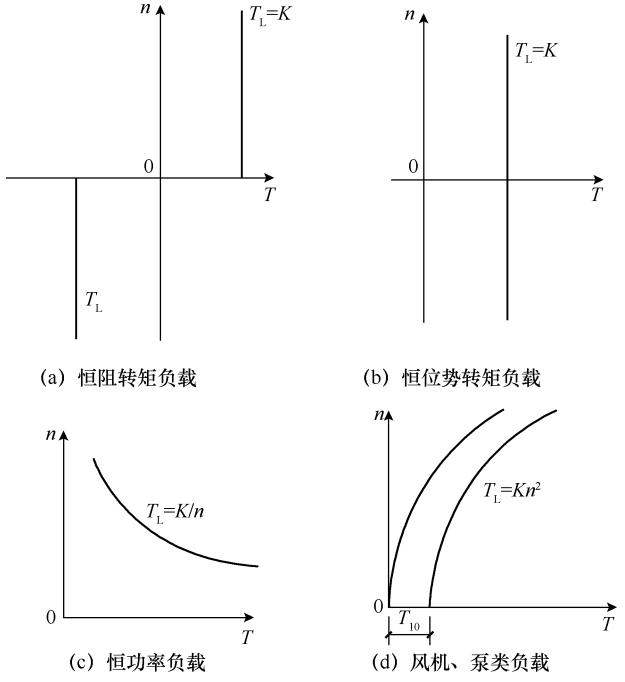


图 14-2 生产机械的负载特性

2. 恒功率负载

某些机械,如机床的切削,通常在粗加工时,切削量大,阻转矩也大,采用低速;而精加工时,切削量小,阻转矩小,采用高速。负载转矩 T_L 与转速 n 成反比,形成恒功率负载,见图 14-2c。轧钢机中的卷取机及开卷机要求恒张力轧制时也属恒功率负载。负载的恒功率性质是就一定的速度变化范围而言的,当速度很低时,受机械强度限制,T_L 不可能无限增大,在

低速区转为恒转矩性质。负载的恒功率和恒转矩区对传动方案的选择有很大影响，电动机（无论是交流电动机还是直流电动机）在恒磁调速时最大输出转矩不变——恒转矩调速；而在弱磁调速时，最大输出转矩与转速成反比——恒功率调速。如果电动机的恒功率和恒转矩调速范围与负载的恒功率和恒转矩区一致，电动机及供电装置功率最小，但若负载恒功率区很宽，要继续维持上述关系，将要求特殊的宽弱磁调速范围电动机，这给电动机制造及控制带来困难，成本反而增高，这时需寻找一个折中方案，适当增大电动机功率，减小弱磁调速范围。

3. 风机、水泵负载（二次型负载）

在各种风机、水泵、油泵中，随叶轮的转动，空气、水、油对叶片的阻力在一定转速范围内大致与转速 n 的二次方成正比，其特性见图 14-2d，图中 T_{10} 是机器传动部分的摩擦阻转矩，电动机启动时，速度低，阻力矩小，易启动。在额定转速附近，较小的 n 变化将使机械出力有较大变化。

14.1.5 生产机械的工作制



《电气传动自动化技术手册》（第三版）



2.2.2.1 长期工作制

生产机械长期恒速（或变化不大）运行。根据负载施加方式不同，又可分为下列三类。

1. 平稳负载

负载转矩长时间不变或变化不大，例如风机、泵、压缩机、磨粉机等，这类机械对电气传动装置的要求简单，只要有足够的功率和启动转矩就行。

2. 波动或重复短时负载

负载长期施加，但大小波动或周期性重复施加。例如某些恒速轧钢机，这类机械除要求电气传动装置有足够功率和启动转矩外，还要求有足够的过载转矩。

3. 短时负载

施加负载时间很短，在负载周期中占比例很小。这类机械通常有较大飞轮力矩，施加负载时，速度略降低，飞轮发出能量做功，电动机功率可适当减小。对电气传动装置的要求是有足够的启动和过载转矩，电动机发热校验一般都不成问题。

2.2.2.2 短期和重复短期工作制

1. 短期工作制

生产机械经较长时间间隔起停或加减速一次，完成一个工作循环，例如起停式剪切机械和长期工作制的短时负载一样，要求电动机的启动和过载转矩大于负载转矩（发热校验一般不成问题）。区别在于短期工作制的生产机械对起制动（或加减速）时间或行程有要求，需有足够的加减速动态转矩。

2. 重复短期工作制

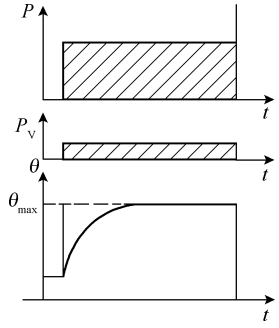
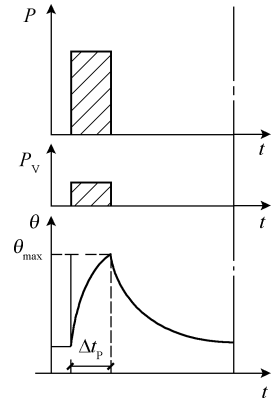
生产机械周期性的起停或加减速，间隔较短，例如可逆轧机、提升机械等。它除了要求有足够的起制动转矩（满足机械对加减速时间或行程的要求）和过载能力外，还要进行发热校验。不同于长期工作制的重复短时负载的发热校验，要考虑加减速电流所增加的损耗。

14.1.6 电动机的工作制

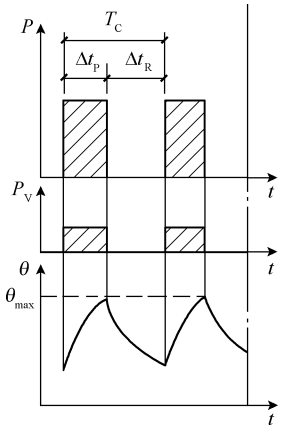
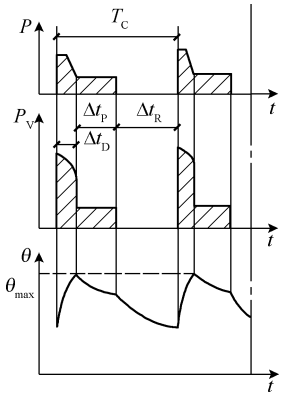
规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

对应于生产机械的各种工作制,通常将传动电动机的工作制类型分为表 14-2 所示的 10 类。

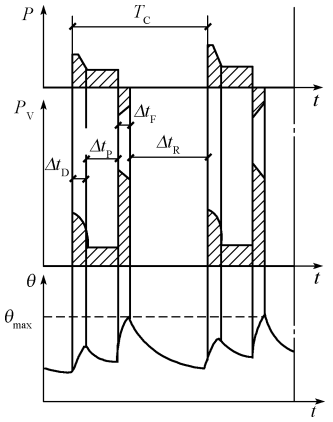
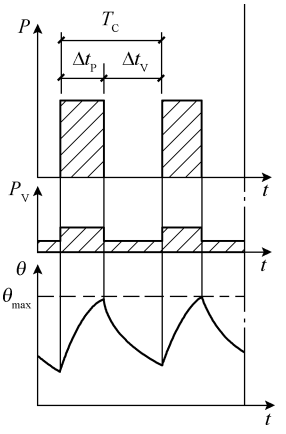
表 14-2 电动机的工作制类型

序号	工作制类别	定义	示意图
1	连续工作制 S1	保持在恒定负荷下运行至热稳定状态	 P—负载;P_V—电气损耗;θ—温度;θ_{max}—达到的最高温度;t—时间
2	短时工作制 S2	在恒定负载下按给定的时间运行,电动机在该时间内不足以达到热稳定状态时,随之停机和断能,其时间足以使电动机再度冷却到与冷却介质温度之差在 2K 以内	 P— 负载;P_V— 电气损耗;θ— 温度;θ_{max}— 达到的最高温度;t— 时间;Δt_p —恒定负载运行时间

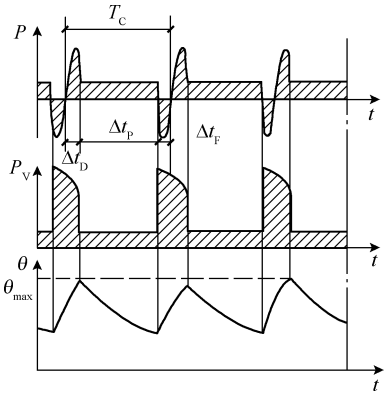
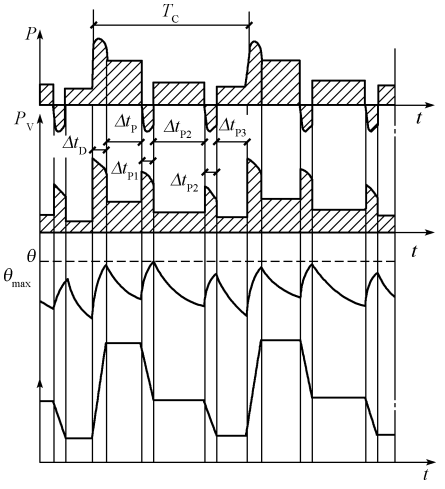
续表

序号	工作制类别	定义	示意图
3	断续周期工作制 S3	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段恒定运行时间及一段停机和断能时间，这种工作制，每一周期的启动电流不致对温升有显著影响	 P— 负载；P_V— 电气损耗；θ— 温度； θ_{max}— 达到的最高温度；t— 时间； T_C— 负载周期；Δt_p— 恒定负载运行时间； Δt_R— 停机和断能时间；负载持续率 $= \Delta t_p / T_C$
4	包括启动的断续周期工作制 S4	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段对温升有显著影响的启动时间、一段恒定负载运行时间和一段停机及断能时间	 P— 负载；P_V— 电气损耗；θ— 温度； θ_{max}— 达到的最高温度；t— 时间； T_C— 负载周期；Δt_D— 启动 / 加速时间； Δt_p— 恒定负载运行时间； Δt_R— 停机和断能时间； 负载持续率 $= (\Delta t_D + \Delta t_p) / T_C$

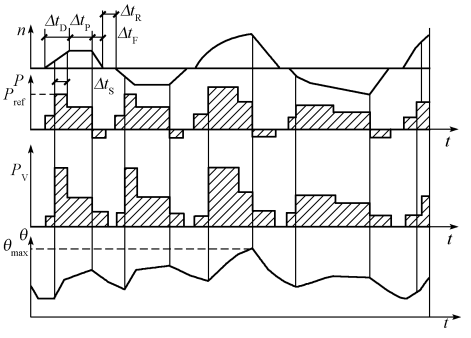
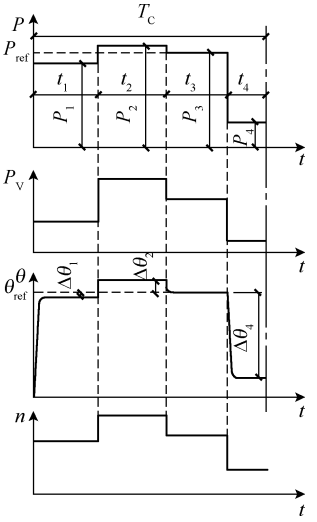
续表

序号	工作制类别	定义	示意图
5	包括电制动的断续周期工作制 S5	按一系列相同的工作周期运行,每一周期包括一段启动时间、一段恒定负载运行时间、一段电制动时间和一段停机及断能时间	 P— 负载;P_V— 电气损耗;θ— 温度; θ_{max}— 达到的最高温度;t— 时间; T_C— 负载周期;Δt_D— 启动 / 加速时间; Δt_p— 恒定负载运行时间;Δt_F— 电制动时间; Δt_R— 停机和断能时间;负载持续率 $= \Delta t_p / T_C$
6	连续周期工作制 S6	按一系列相同的工作周期运行,每一周期包括一段恒定负载运行时间和一段空载运行时间,无停机和断能时间	 P— 负载;P_V— 电气损耗;θ— 温度; θ_{max}— 达到的最高温度;t— 时间; T_c— 负载周期;Δt_p— 恒定负载运行时间; Δt_V— 空载运行时间;负载持续率 $= \Delta t_p / T_C$

续表

序号	工作制类别	定义	示意图
7	包括电制动的连续周期工作制 S7	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段启动时间、一段恒定负载运行时间和一段电制动时间，无停机和断能时间	 P— 负载；P_V— 电气损耗；θ— 温度；t— 时间；T_C— 负载周期；Δt_D— 启动 / 加速时间；Δt_p— 恒定负载运行时间；Δt_F— 电制动时间；负载持续率 = 1
8	包括负载－转速相应变化的连续周期工作制 S8	按一系列相同的工作周期运行，每一周期包括一段按预定转速运行的恒定负载运行时间和按一个或几个不同转速的其他恒定负载运行时间（例如变速异步电动机），无停机和断能时间	 P— 负载；P_V— 电气损耗；θ— 温度；θ_{max}— 达到的最高温度；n— 转速；t— 时间；T_C— 负载周期；Δt_D— 启动 / 加速时间；Δt_p— 恒定负载运行时间（P_1，P_2，P_3）；负载持续率 =（$\Delta t_D + \Delta t_{p1}$）/ T_C、（$\Delta t_{F1} + \Delta t_{F2}$）/ T_C、（$\Delta t_{p2} + \Delta t_{p3}$）/ T_C

续表

序号	工作制类别	定义	示意图
9	负载和转速作非周期性变化的工作制 S9	负载和转速在允许的范围内作非周期性变化的工作制,这种工作制包括经常性过载,其值可远远超过基准负载	 P— 负载;P_{ref}— 基准负载;P_V— 电气损耗; θ— 温度;θ_{max}— 达到的最高温度; n— 转速;t— 时间;Δt_D— 启动 / 加速时间; Δt_p— 恒定负载运行时间;Δt_F— 电制动时间; Δt_R—— 停机和断能时间;Δt_s— 过载时间
10	离散恒定负载工作制 S10	包括不多于 4 种离散负载值(或等效负载)的工作制,每一种负载的运行时间应是以使电动机达到热稳定,在下一个工作周期中的最小负载值可为零(空载或停机和断能)	 P— 负载;P_i— 负载周期内的恒定负载; P_{ref}— 基于 S1 工作制的基准负载; P_V— 电气损耗;θ— 温度; θ_{ref}— 基准负载时的温度;T_C— 负载周期; $\Delta\theta_i$— 在负载周期内每种负载时绕组的 温升与基准负载时温升的差值; t— 时间;t_i— 负载周期中的恒定负载时间

这 10 类工作制中，工作制 S1 可以按照电动机铭牌给出的连续定额作长期运行。对于工作制 S2，电动机应在实际冷状态下启动，并在规定的时限内运行。短时定额的时限一般规定为 10、30、60 或 90min，视电动机而定。

对于工作制 S3 和 S6，每一工作周期的时间为 10min。

对于 S3、S4、S5、S6 和 S8 等 5 种工作制，负载持续率为 15%、25%、40%和 60%。

对于 S4、S5、S7 和 S8 等 4 种工作制，每小时的等效启动次数一般分为 150、300 或 600 次，并应给出电动机的转动惯量 J_m 和折算到电动机轴上的全部外加转动惯量 J_{exl} 之值。

14.2 电动机选择的技术要求

14.2.1 电动机选择一般要求

《通用用电设备配电设计规范》(GB 50055—2011)

规范引用

2.1.1 电动机的工作制、额定功率、堵转转矩、最小转矩、最大转矩、转速及其调节范围等电气和机械参数应满足电动机所拖动的机械(以下简称机械)在各种运行方式下的要求。

2.1.2 电动机类型的选择应符合下列规定：

1. 机械对启动、调速及制动无特殊要求时，应采用笼型电动机，但功率较大且连续工作的机械，当在技术经济上合理时，宜采用同步电动机。

2. 符合下列情况之一时，宜采用绕线转子电动机：

1)重载启动的机械，选用笼型电动机不能满足启动要求或加大功率不合理时。

2)调速范围不大的机械，且低速运行时间较短时。

3. 机械对启动、调速及制动有特殊要求时，电动机类型及其调速方式应根据技术经济比较确定。当采用交流电动机不能满足机械要求的特性时，宜采用直流电动机；交流电源消失后必须工作的应急机组，亦可采用直流电动机。

4. 变负载运行的风机和泵类等机械，当技术经济上合理时，应采用调速装置，并选用相应类型的电动机。

2.1.3 电动机额定功率的选择应符合下列规定：

1. 连续工作负载平稳的机械应采用最大连续定额的电动机，其额定功率应按机械的轴功率选择。当机械为重载启动时，笼型电动机和同步电动机的额定功率应按启动条件校验；对同步电动机，尚应校验其牵入转矩。

2. 短时工作的机械应采用短时定额的电动机，其额定功率应按机械的轴功率选择；当无合适规格的短时定额电动机时，可按允许过载转矩选用周期工作定额的电动机。

3. 断续周期工作的机械应采用相应的周期工作定额的电动机，其额定功率宜根据制造厂提供的不同负载持续率和不同启动次数下的允许输出功率选择，亦可按典型周期的等值负载换算为额定负载持续率选择，并应按允许过载转矩校验。

4. 连续工作负载周期变化的机械应采用相应的周期工作定额的电动机，其额定功率宜根据制造厂提供的数据选择，亦可按等值电流法或等值转矩法选择，并应按允许过载转矩校验。

5. 选择电动机额定功率时,应根据机械的类型和重要性计入储备系数。

6. 当电动机使用地点的海拔和冷却介质温度与规定的工作条件不同时,其额定功率应按制造厂的资料予以校正。

2.1.4 电动机的额定电压应根据其额定功率和配电系统的电压等级及技术经济的合理性确定。

2.1.5 电动机的防护形式应符合安装场所的环境条件。

2.1.6 电动机的结构及安装形式应与机械相适应。

14.2.2 直流与交流电动机的比较

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)



交流电动机结构简单、价格便宜、维护工作量小,但起制动及调速性能不如直流电动机。因此在交流电动机能满足生产需要的场合都应采用交流电动机,仅在起制动和调速等方面不能满足需要时才考虑直流电动机。近年来,随着电力电子及控制技术的发展,交流调速装置的性能与成本已能和直流调速装置竞争,越来越多的直流调速应用领域被交流调速占领。在选择电动机种类时应从以下几方面考虑选用交流电动机还是直流电动机。

2.3.1.1 不需调速的机械

包括长期工作制、短时工作制和重复短时工作制机械,应采用交流电动机。仅在某些操作特别频繁、交流电动机在发热和起制动特性不能满足要求时,才考虑直流电动机,只需几级固定速度的机械可采用多极交流电动机。

2.3.1.2 需要调速的机械

(1)转速与功率之积:受换向器换向能力限制,按目前的技术水平,直流电动机最大的转速与功率之积约为 10^6 kW·r/min,当接近或超过该值时,宜采用交流电动机,该问题不仅对大功率设备存在,对某些中小功率设备在要求转速特别高时也存在。

(2)飞轮力矩:为改善换向器换向条件,要求直流电动机电枢漏感小,电动机转子短粗,因而造成飞轮力矩 GD^2 大。交流电动机(无换向器电动机除外)无此限制,转子细长,GD^2 小,电动机转速越高,交直流电动机 GD^2 之差越大,当直流电动机的 GD^2 不能满足生产机械要求时,宜采用交流电动机。表 14-3 中列出几台实际电动机的 GD^2 值,供参考。

表 14-3 交直流电动机的 GD^2 值

功率/kW	转速/(r/min)	GD^2/(kV·m^2)	
		交流	直流
9500	70/140	441	794
9000(交流)2×4500(直流双电枢)	250/578	52	188

(3)为解决直流电动机 GD^2 大和功率受限制的问题,过去许多机械采用双电枢或三电枢直流电动机传动,但电动机造价高,占地面积大,易产生轴扭振,随着交流调速技术的发展,上述方案已不可取,应考虑改用单台交流电动机。

(4)在环境恶劣场合,例如高温、多尘、多水汽、易燃、易爆等场合,宜采用无换向器、无火花、易密闭的交流电动机。

(5)交直流电动机调速性能差不多,目前高性能系统的转矩响应时间都是 10~20ms,速

度响应时间都在100ms左右，交流电动机GD^2小，略快一些，为获得同样的性能，交流调速系统比直流调速系统复杂，要求较高调整维护水平。

(6)对电网的影响。

1)可控整流直流调速装置存在输入功率因数低及输入电流中存在5、7、11、13、……次谐波问题。

2)晶闸管交－直－交变频交流调速装置的输入部分仍是可控整流，对电网的影响和直流调速时相同。

3)晶闸管交－交变频交流调速也基于移相控制，输入功率因数和直流调速时差不多，输入电流中除5、7、11、13、……次谐波外，还有旁频、谱线数目增加，但幅值减小。

4)IGBT和IGCT(或IEGT)PWM交流变频调速传动输入功率因数好，接近“1”，采用有源前端整流(PWM整流)可以做到功率因数等于“1”，且输入电流为正弦，供电设备容量小，不必装无功补偿装置，节约供电费用。

(7)成本：交流调速用变流装置比直流调速用整流装置贵，因为交流调速用变流装置按电动机的电压电流峰值选择器件，当三相电流中某一相电流处于峰值时，另两相电流只有一半，器件得不到充分利用，交流电动机比直流电动机便宜，可以补偿交流装置增加的成本，目前：

1)中小功率(300kW以下)传动系统采用IGBT的PWM变频调速装置的成本比直流装置略贵，但可以从电动机差价和减少维修中得到补偿，交流调速正逐步取代直流调速。

2)大功率(2000kW以上)调速传动系统，交流电动机和调速装置的总价格已与直流相当或略低，新建设备基本上已全部采用交流传动，原有直流调速设备也逐步改用变流调速设备。

3)中功率(200～2000kW)调速传动系统，交流装置比直流装置贵许多，目前直流用得较多，由于IGBT PWM变频可节约电费，现在1000kW以下的新建传动系统也在考虑使用交流。

(8)损耗与冷却通风。

1)采用直流电动机时，主电路功率流入转子，散热困难，需要通风功率大，冷却水多。

2)采用交流同步电动机时，主电路功率流入定子，散热条件好，通风功率小，比直流电动机节能、节水一半左右。

3)采用交流异步电动机时，主电路功率虽也流入定子，但功率因数低，效率与直流电动机差不多。

14.2.3 电动机转速选择

《钢铁企业电力设计手册》(下册)

规范引用



合理地选择电动机的转速，应从技术经济多方面考虑：

(1)对于不需要调速的高转速或中转速机械，如水泵、压缩机、鼓风机一般应选用相应转速的异步或同步电动机直接与机械相连接。

(2)不需要调速的低转速机械，如球磨机、轧钢机，一般选用适当转速的电动机通过减速机来传动。对于大功率设备的传动，应注意电动机的转速不宜过高，因为制造速比大的减速机比较困难。

(3)对于需要调速的机械,如轧钢机,电动机的转速与生产机械要求的最高速度相适应,并留有10%～15%向上调速的裕量,连接方法可直接连或者通过减速机传动。如选用直流电动机,应从充分利用电动机功率出发,合理选择电动机的基速。对于恒功率调速的某些机械,应适当选择减速机传动比及电动机的基速,使电动机在基速附近或以上运行。在机械允许条件下,减速机速比宜适当大些,这样便可选择较高基速的直流电动机,以减少电动机造价。

(4)反复短时工作的机械,电动机的转速除了能满足最高速度要求外,还需从保证生产机械达到最大的加、减速度而选择最合适的传动比,使生产机械获得最高生产率。

(5)钢铁企业某些低速反复短时工作机械,如初轧机主传动,在电动机制造可能条件下,宜采用无减速机直接传动,以提高传动系统的效率,减少能耗,并提高传动系统的动态性能(减小机械传动系统的飞轮矩,缩短正、反转过渡历程)。

14.2.4 电动机电压选择

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》(下册)



交流电动机的额定电压应根据下列条件经技术经济比较后确定:

(1)工业企业供电电压一般为10kV、6kV、380V。

(2)电动机额定电压和容量范围见表14-4及表14-5。

电动机额定电压选择与工业企业供电电压有关,应经技术经济比较后确定。

当企业供电电压为10kV时,大容量电动机采用10kV直接供电;中等容量电动机,如果有10kV电压者,应优先采用;当总降具有6kV电压的三线圈主变压器时,应采用6kV电机,并设6kV母线。当只有10kV电源时,电动机的额定电压采用6kV还是3kV,在经过技术经济比较后,只有当采用10/3kV比10/6kV中间变压器供电在技术经济上更加合理时,才可以采用3kV电动机。

表14-4 交流电动机额定电压和容量范围表

额定电压/V	容量范围/kW					
	同步电动机		异步电动机			
			鼠笼型		绕线型	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
～380	3	320	0.37	320	0.6	320
～3000	250	2200	90	2500	75	3200
～6000	250	10000	200	5000	200	5000
～10000	10000					

注:电动机额定电压和容量范围应按近期产品样本,本表仅供参考。

当企业供电电压为6kV时,中等容量的电动机应采用6kV电动机。

对于200～300kW额定容量的电动机,其额定电压采用低压或高压,应经技术经济比较后确定。

上述技术经济比较的内容包括：

(1)设备费及其建筑费、安装费，设备费包括变压器、电动机、电缆、开关设备等。

(2)维护费，尚包括变压器、电动机、电缆中的电能损耗。

直流电动机额定电压与容量范围见表 14-5。

表 14-5 直流电动机额定电压与容量范围

额定电压/V	容量范围/kW
−110	0.28～100
−220	0.25～320
−440	1.0～500
−500～−1000	300～4600

随着电力电子元件与直流电动机制造技术水平的提高，直流电动机电枢电压有提高的趋势。如 20 世纪 70 年代引进的 5000kW 直流电动机电枢电压为 750V，80 年代以来提高到 1200V。因此，在选择直流电动机电枢电压时，宜在容量范围内，采用较高电压，以减小损耗，减少变流装置桥臂的晶闸管并联支路数或提高变流装置的电流储备系数，提高可靠性。

14.2.5 电动机绝缘等级的选择

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》(下册)



环境温度在 40℃以下且在正常环境工作，可选用 A 级、E 级绝缘等级的电动机；湿热带环境宜选用 E 级绝缘等级的电动机。

环境温度在 40℃以上，如冶金车间生产线上的电动机宜选用 F 级或 B 级绝缘等级的电动机。

只有环境温度高，环境条件恶劣，才选用 H 级绝缘等级的电动机。如连铸机的拉矫机可选用 H 级绝缘等级的直流电动机；热轧车间生产线上选 H 级绝缘等级 YZ 及 YZR 型交流电动机。

电动机工作地点应符合电动机铭牌规定的海拔要求或提出特别订货。

14.2.6 电动机功率计算

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)



2.3.7.1 电动机功率计算的基本公式

表 14-6 列出了电动机容量计算的基本公式

表 14-7 为几种不同几何形状的部件飞轮力矩计算表。表 14-8～表 14-10 分别列出了机械传动效率平均值、滚动摩擦系数、滑动摩擦系数等数据。

表 14-6 电动机容量计算常用公式

名称	公式	符号
1. 功率	$P=\dfrac{T_{\mathrm{M}}n_{\mathrm{M}}}{9550}$ $P=\dfrac{Fv}{\eta}\times10^{-3}$ $P=\dfrac{T_{\mathrm{M}}\omega_{\mathrm{M}}}{1000}$	P——电动机功率(kW)； T_{M}——电动机转矩(N·m)； n_{M}——电动机转速(r/min)； ω_{M}——电动机角速度(rad/s)； F——作用力(N)； v——运动速度(m/s)； η——传动效率； E——运动物体的动能(J)； m——物体的质量(kg)； J——转动惯量(kg·m^2)； GD^2——飞轮力矩(N·m^2)； T_{L}——电动机轴上的静阻负载转矩(N·m)； T_m——机械轴上的静阻转矩(N·m)； R——物体运动的旋转半径(m)； i——传动比； n_m——机械轴转速(r/min)； J_m——机械轴上的转动惯量(kg·m^2)； GD_m^2——机械轴上的飞轮转矩(N·m^2)； g——重力加速度(m/s^2)； G_m——直线运动物体的重力(N)； v_m——直线运动物体的速度(m/s)； GD_{M}^2——电动机转子飞轮转矩(N·m^2)； $GD_{m1}^2,GD_{m2}^2,\cdots,GD_{mn}^2$——相应于转速 $n_{m1},n_{m2},\cdots,n_{mn}$ 轴上的飞轮转矩； $i_1,i_2,\cdots,i_n$——各轴对电动机轴的传动比； t_{s}——启动(加速)时间(s)； t_{b}——制动(减速)时间(s)； T_{d}——动态(加减速)转矩(N·m)
2. 运动物体的动能	$\omega_{\mathrm{M}}=\dfrac{\pi n_{\mathrm{M}}}{30}$ $E=\dfrac{mv^2}{2}$ $E=\dfrac{J\omega^2}{2}$ $E=\dfrac{GD^2n^2}{7200}$	
3. 折算到电动机轴上的静阻负载转矩	$T_{\mathrm{L}}=T_m\dfrac{1}{i\eta}$ $T_{\mathrm{L}}=F\dfrac{v}{\omega_{\mathrm{M}}}\dfrac{1}{\eta}$ $T_{\mathrm{L}}=\dfrac{FR}{i\eta}$ $i=\dfrac{n_{\mathrm{M}}}{n_m}$	
4. 折算到电动机轴上的转动惯量和飞轮转矩	$J=J_m/i^2$ $GD^2=GD_m^2/i^2$ $GD^2=365G_mv_m^2/n_{\mathrm{M}}^2$ $GD^2=4gJ$ $GD^2=GD_{\mathrm{M}}^2+\dfrac{GD_{m1}^2}{i_1^2}+\dfrac{GD_{m2}^2}{i_2^2}+\cdots+\dfrac{GD_{mn}^2}{i_n^2}$ $i_1=\dfrac{n_{\mathrm{M}}}{n_{m1}},i_2=\dfrac{n_{\mathrm{M}}}{n_{m2}},\cdots,i_n=\dfrac{n_{\mathrm{M}}}{n_{mn}}$	
5. 电动机起、制动时间 (1)动态转矩恒定下启动(加速)时间 (2)动态转矩线性变化下制动(减速时间) (3)动态转矩非恒定,也非线性变化时	(1)$t_{\mathrm{s}}=\dfrac{GD^2(n_2-n_1)}{375T_{\mathrm{d}}}$ $T_{\mathrm{d}}=T_{\mathrm{M}}-T_{\mathrm{L}}$ $t_{\mathrm{b}}=\dfrac{GD^2(n_1-n_2)}{375(-T_{\mathrm{d}})}$ $-T_{\mathrm{d}}=-(T_{\mathrm{M}}+T_{\mathrm{L}})$ (2)$t_{\mathrm{s}}=\dfrac{GD^2(n_2-n_1)}{375(T_{\mathrm{M1}}-T_{\mathrm{M2}})}\ln\dfrac{T_{\mathrm{M1}}-T_{\mathrm{L}}}{T_{\mathrm{M2}}-T_{\mathrm{L}}}$ $t_{\mathrm{b}}=\dfrac{GD^2(n_2-n_1)}{375(T_{\mathrm{M1}}-T_{\mathrm{M2}})}\ln\dfrac{T_{\mathrm{M1}}+T_{\mathrm{L}}}{T_{\mathrm{M2}}+T_{\mathrm{L}}}$ (3)$t_{\mathrm{s}}=\dfrac{GD^2}{375}\displaystyle\int_{n_1}^{n_2}\dfrac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t}$($T_{\mathrm{d}}>0$时加速) $t_{\mathrm{s}}=\dfrac{GD^2}{375}\displaystyle\int_{n_1}^{n_2}$($T_{\mathrm{d}}<0$时减速)	
6. 动态转矩恒定时,加减速过程电动机行程	$s=\dfrac{GD^2(n_2^2-n_1^2)}{4500T_{\mathrm{d}}}$	

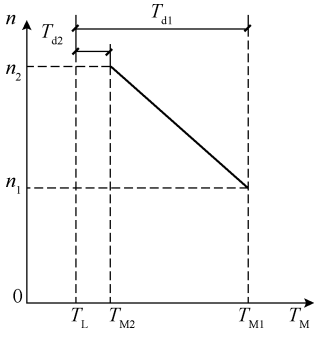


表 14-7 飞轮力矩的计算

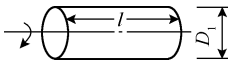
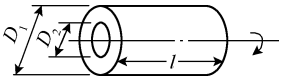
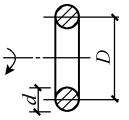
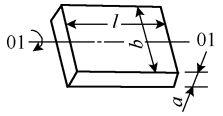
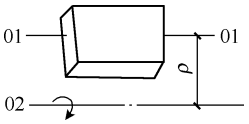
飞轮力矩	物体的几何形状	符中与及单位
实心圆柱体 $GD^2=G\dfrac{D_1^2}{2}=\dfrac{\pi}{8}g\gamma lD_1^4$		GD^2——飞轮力矩(N·m³)； G——重力(N)，$G=mg$； D_1——外径(m)； γ——密度(kg/m³)； l——长度(m)； D_2——内径(m)； D——圆环直径(m)； d——环截面直径(m)； a——厚度(m)； b——宽度(m)； ρ——回转半径(m)； g——重力加速度(m/s²)； m——质量(kg)
空心圆柱体 $GD^2=\dfrac{G(D_1^2+D_2^2)}{2}=\dfrac{\pi}{8}g\gamma l(D_1^4-D_2^4)$		
四环 $GD^2=G(D^2+0.75d^2)=$ $\dfrac{\pi^2}{4}g\gamma(D^3d^2+0.75Dd^4)$		
六面体(对轴线 01－01) $GD^2_{斜}=G\dfrac{(a^2+b^2)}{3}=\dfrac{a^2+b^2}{3}g\gamma abl$		
六面体(对轴线 02－02) $GD^2_{02}=GD^2_{01}+4G\rho^2$		

表 14-8 机械传动效率平均值

传动装置	效率 η
齿轮传动(圆锥形、圆柱形、伞形)一般数据	0.96～0.98
钢绳传动	0.90
圆柱形齿轮传动 (1)磨制过的正齿轮 (2)车削加工的正齿轮 (3)粗加工的正齿轮 (4)人字齿轮	 0.99 0.98 0.96 0.985
伞齿轮减速器	0.97～0.98
链条传动	0.98
摩擦传动	0.7～0.8
涡轮传动($\mu=0.1$) (1)螺纹角为 4°～6° (2)螺纹角为 8°～10° (3)螺纹角为 15°～20°	 0.41 0.55 0.66
带传动	0.94～0.98
V 带传动	0.90
绳索及链条卷筒 绳索及链条滑车 复式滑车（包括支座的摩擦损耗）	0.96 0.94～0.96 0.92～0.98

续表

传动装置	效率 η
支座轴颈	
(1)滚动轴承	0.99
(2)滑动轴承	0.97
(3)滑动轴承但润滑不良	0.94
(4)带油环润滑	0.98

表 14-9 滚动摩擦系数

辊子轮子或车轮形式	滚动摩擦系数 R/cm
车轮或钢轨间(起重机大车行走等)	
(1)车轮加工良好	0.08～0.05
(2)车轮粗加工	0.10
(3)平均值	0.08
辊道的辊子在运输过程中:	
(1)900～1200℃热钢锭包覆一层厚氧化铁皮	0.25
(2)冷钢锭,包覆氧化铁皮	0.20
(3)500～1000℃的轧件	0.15
(4)冷轧件	0.10
铁路轮对	0.025～0.015
滚动轴承中的滚柱和滚珠	0.001～0.003
汽车轮胎	
(1)对沥青路面	0.25
(2)对土路面	1.0～1.5

表 14-10 滑动摩擦系数

接触物体	滑动摩擦系数	
	静止的 μ_0	运动中 μ
轮缘与钢轨间		
(1)启动时	0.20	
(2)速度 $v=5$m/s 运动时		0.15
钢锭与钢制辊子间		
(1)热金属	0.03～0.25	
(2)冷金属	0.15	
滚动轴承		
(1)热轧机带有金属轴衬		0.07～0.10
(2)冷轧机带有金属轴衬		0.05～0.07
(3)带有木质塑料制轴衬		0.01～0.03
(4)液体摩擦系数		0.003～0.005
(5)青铜对青铜	0.11	0.06
(6)铁对铁	0.11	0.08～0.01
(7)铜对青铜	0.105	0.09
(8)生铁对青铜	0.15～0.20	0.07～0.08

续表

接触物体	滑动摩擦系数	
	静止的 μ_0	运动中 μ
滚动轴承(有润滑时)		
(1)减速机		0.005
(2)吊车车轮		0.008
(3)辊道辊子与热金属		0.015
(4)辊道辊子与冷金属		0.010

2.3.7.2 几种常用机械传动中所用电动机的功率计算

1. 离心式风机

其电动机功率(kW)计算公式为

$$P=\frac{kQH}{\eta\eta_c}\times 10^{-3} \tag{14-1}$$

式中 Q——送风量(m^3/s);

H——空气压力(Pa);

η——风机效率,为 0.4～0.75;

η_c——传动效率,直接传动时为 1;

k——裕量系数,其值见表 14-11。

表 14-11 电动机容量裕量系数

功率/kW	1.0 以下	1～2	2～5	大于 5
裕量系数	2	1.5	1.25	1.15～1.10

2. 离心式泵

其电动机功率(kW)的计算公式为

$$P=\frac{k\gamma Q(H+\Delta H)}{\eta\eta_c}\times 10^{-3} \tag{14-2}$$

式中 γ——液体密度(kg/m^3);

Q——泵的出水量(m^3/s);

H——水头(m);

ΔH——主管损失水头(m);

η——水泵效率,一般取 0.6～0.84;

η_c——传动效率,与电动机直接连接时,$\eta_c=1$;

k——裕量系数,见表 14-12。

表 14-12 裕量系数

功率/kW	2 以下	2～5	5～50	50～100	100 以上
裕量系数	1.7	1.5～1.3	1.15～1.10	1.08～1.05	1.05

当管道长、流速高、弯头与阀门的数量多时,裕量系数值还要适当加大。

为离心泵选配电动机时,须注意电动机的转速。因离心泵的水头、流量与转速之间存在着以下关系:

$$H_1/H_2 = \frac{n_1^2}{n_2^2} \quad Q_1/Q_2 = n_1/n_2$$

$$T_1/T_2 = n_1^2/n_2^2 \quad P_1/P_2 = n_1^3/n_2^3$$

3. 离心式压缩机

其电动机功率(kW)计算公式为

$$P = \frac{Q(A_d + A_r)}{2\eta} \times 10^{-8} \tag{14-3}$$

式中 Q——压缩机生产率(m^3/s);

A_d——压缩 $1m^3$ 空气至绝对压力 p_1 的等温功(N·m);

A_r——压缩 $1m^3$ 空气至绝对压力 p_1 的绝热功(N·m);

η——压缩机总效率,为 0.62～0.8。

A_d、A_r 值与终点压力 p_1 的关系见表 14-13。

表 14-13 A_d、A_r 值与终点压力 p_1 的关系

p_1 大气压	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
A_d/N·m	39717	67666	107873	136312	157887	175539	191230	203978	215746	225553
A_r/N·m	42169	75511	126506	167694	201036	230456	255954	280470	301064	320677

4. 起重机

起重机属断续周期工作制,按其工作繁重程度,大致可分为轻、中、重和特重等 4 级,各级对应的负载持续率 FC(%)大致为:轻级 FC=15%,中级 FC=25%,重级 FC=40%,特重级 FC=60%。各类起重机的负载程度参见表 14-14。

表 14-14 通用桥(梁)式超重机各机构工作类型实例表

类别及用途	各机构常用工作类型			
	起升		行走	
	主	副	小车	大车
电站安装检修用吊钩起重机	轻	轻	轻	轻
车间仓库一般用途吊钩起重机	中	中	中	中
繁重工作车间和仓库吊钩起重机	重	中	中	重
间断装卸用抓斗起重机	重	—	重	重
连续装卸用抓斗起重机	特重	—	特重	特重
电磁起重机	重	—	中	重

起重机各机构传动电动机功率(kW)可按下式计算:

$$P = \frac{Fv}{\eta} \times 10^{-3} \tag{14-4}$$

式中 v——运动线速度(m/s);

η——机械传动效率;

F——运动时的阻力(N)。

对于起升机构,F 用额定起升重量代;对于行走机构

$$F = G_\Sigma(C + 7v) \times 10^{-3} \tag{14-5}$$

式中 G_Σ——运动部分总重力(N);

C——行走阻力系数，用滚动轴承时，$C=10\sim12$，用滑动轴承时，$C=20\sim25$。

14.2.7 电动机的校验

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)



2.3.7 电动机的功率计算及校验

电动机的功率计算一般由机械设计部门选定。按负载先预选一台电动机，然后进行下述校验：

1. 发热校验

根据生产机械的工作制及负载图，按等效电流(方均根电流)法或平均损耗法进行计算。有些生产机械负载图不易确定，可通过试验、实测或对比(与实际运行的类似机械相比较)等方法来校验。从生产的发展、负载的性质以及考虑电网电压的波动、计算误差等因素，应留有适当裕度(一般10%左右；同步电动机时考虑到其他一些因素，如补偿功率因数等，可以更大一些)。

2. 启动校验

计及启动时电源电压的降低，校验启动过程中的最小转矩是否大于负载转矩，以保证电动机顺利启动。

3. 过载能力校验

对于短时工作制、重复短时工作制和长期工作制，需校验电动机最大过载转矩是否大于负载最大峰值转矩。

4. 电动机 GD^2 校验

某些机械对电动机动态性能有特殊要求，例如飞剪对电动机启动时间和行程有要求；连轧机主传动对速降及速度响应时间有要求；这时需校验电动机 GD^2 能否满足生产要求。

5. 其他一些特殊的校验

例如辊道类电动机的打滑转矩校验等。

规范引用 《钢铁企业电力设计手册》(下册)



23.5.1 负荷平稳的连续工作制电动机(S1)

(1)按轴功率确定电动机的额定功率。

$$P_N \geqslant P_1 = \frac{M_1 n_N}{9550} \tag{14-6}$$

式中 P_N——额定功率(kW)；

P_1——折算到电动机轴上的负荷功率(kW)；

M_1——折算到电动机轴上的负荷转矩(N·m)；

n_N——电动机的额定转速(r/min)。

当负荷转矩恒定且需要在基速以上调速时，直流电动机的额定功率应按要求的最高工作转速计算，即

$$P_N \geqslant \frac{M_1 n_{max}}{9550} \tag{14-7}$$

式中 P_N——额定功率(kW)；

n_{max}——电动机的最高工作转速(r/min)。

(2)按启动时最小转矩和允许的最大飞轮矩校验鼠笼型电动机或同步电动机的额定功率。

对于启动转矩较大或带有较大的飞轮矩而采用笼型电动机或同步电动机的场合,在选择电动机容量后,还要按式(14-8)与式(14-9)分别校验启动过程中的最小转矩和允许的最大飞轮矩,以保证生产机械能顺利地启动和在启动过程中电动机不致过热。

电动机的最小启动转矩

$$M_{Mmin} \geqslant \frac{M_{lmax} K_s}{K_u^2} \tag{14-8}$$

式中 M_{Mmin}——最小启动转矩(N·m);

M_{lmax}——启动过程中可能出现的最大负荷转矩(N·m)。

K_s——保证启动时有足够加速转矩的系数,一般取 $K_s=1.15\sim1.25$;

K_u——电压波动系数,即启动时电动机端电压与电动机额定电压之比,全压启动时 $K_u=0.85$。

允许的最大飞轮矩 GD^1_{xm}

$$GD^2_{mec} \leqslant GD^2_{xm} = GD^2_0\left(1-\frac{M_{lmax}}{M_{sav}K_v^2}\right)-GD^2_M \tag{14-9}$$

式中 GD^2_{mec}——折算到电动机轴上的传动机械的最大飞轮矩(N·m²);

GD^2_0——包括电动机在内的整个传动系数所允许的最大飞轮矩(N·m²)折算到电动机轴上数值,由电动机资料查取;

GD^2_M——电动机转子飞轮矩(N·m²);

M_{sav}——电动机的平均启动转矩(N·m)。

按式(14-8)和式(14-9)两项校验均通过后,则所选电动机容量合适。

23.5.2.1 等效电流法

由转矩曲线 $M=f(t)$绘出电流曲线 $I=f(t)$。

将电流曲线 $I=f(t)$分成若干个面积相等的阶形曲线,如图 14-3 所示,或绘成若干个梯形曲线,见图 14-9。

梯形曲线的每一梯形的等效电流为

$$I^2_{rms} = I_1 I_2 + \frac{(I_1-I_2)^2}{3}$$

三角形曲线的等效电流($I_2=0$)为

$$I^2_{rms}=\frac{I_1^2}{3}$$

电动机的等效电流为

$$I_{Mrms} = \sqrt{\frac{I^2_{1rms}t_1 + I^2_{2rms}t_2 + \cdots + I^2_{nrms}t_n}{T_c}} \tag{14-10}$$

$I_N > I_{Mrms}$时,则表示电动机按发热校验可以通过。

式中 $I_{1rms}\sim I_{nrms}$——负荷曲线中各阶形或梯形曲线的等效电流(A);

$t_1\sim t_n$——对应于 $I_{1rms}\sim I_{nrms}$的时间(s);

I_X——电动机的额定电流(A);

T_c——周期时间,$T_c=t_1+t_2+\cdots+t_n$(s)。

23.5.2.2 等效转矩法

根据负荷转矩曲线 $M=f(t)$直接验算电动机的功率。

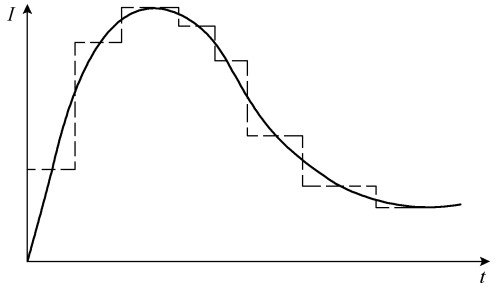


图 14-3 以阶形曲线代替负荷电流 $I=f(t)$曲线

等效转矩为

$$M_{\mathrm{M}rms}=\sqrt{\frac{M_{1dx}^2t_1+M_{2dx}^2t_2+\cdots+M_{ndx}^2t_n}{T_c}} \tag{14-11}$$

$M_{\mathrm{M}rms}$小于电动机的额定转矩时,则表示电动机按发热校验可以通过。

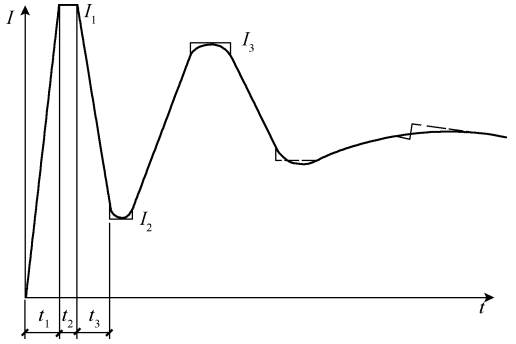


图 14-9 以梯形曲线代替负荷电流 $I=f(t)$曲线

式中 $M_{1dx}\sim M_{ndx}$——阶形或梯形负荷转矩的有效值(N·m)。

T_c——周期时间(s)。

式(14-11)可用于磁通恒定的直流电动机、稳速工作的绕线型和鼠笼型电动机以及同步电动机,但不能用于直流串励电动机等。

同步电动机及带飞轮的绕线型异步电动机的计算实例见 23.6.2 节。

工作在高于额定转速的直流电动机(弱磁),应绘制经修正的计算转矩 $M_l'=f(t)$曲线,并以此计算电动机的容量,M_l'和实际负荷转矩 M_l的关系为

$$M_l=M_l\frac{n_M}{n_N} \tag{14-12}$$

式中 n_N——额定转速(r/min);

n_M——高于 n_N的工作转速(r/min)。

23.5.3 短时工作制电动机(S2)

短时工作制电动机应按过载能力和短时发热选择。

23.5.3.1 按过载能力选择电动机

对于异步电动机:

$$P_N=\frac{P_{lmax}}{0.75\lambda} \tag{14-13}$$

式中 P_N——电动机的额定功率(kW);

P_{lmax}——短时负荷功率最大值(kW);

λ——电动机的过载倍数。

23.5.5 电动机容量的修正

23.5.5.1 环境温度变化时的修正

当环境温度 t_s 和额定环境温度 t_N(例如 $t_N=40℃$)不同时,电动机的可用功率 P 修正为

$$P = XP_N \tag{14-19}$$

式中 P_N——额定环境温度下的电动机额定功率(kW);

X——环境温度改变时的修正系数。

假定电动机的温升正比于它的损耗,则环境温度变化时电动机的稳定温升也相应变化,可得

$$X = \sqrt{1 \pm \frac{\Delta r}{\tau_N}(\gamma+1)} \tag{14-15}$$

式中 $\Delta\tau$——环境温度改变值(℃);

τ_N——额定环境温度 t_N 时的电动机额定温升(℃);

γ——电动机的固定损耗和额定可变损耗之比;

"+"——环境温度低于额定环境温度;

"−"——环境温度高于额定环境温度。

由设备资料可知,某些电动机当环境温度低于额定值 τ_N 时,其容量不需修正;某些电动机当环境温度高于额定环境温度时,则应按式(14-19)修正其容量,但当环境温度高于额定环境温度 10℃时,电动机容量的降低值由电动机厂规定,不能按式(14-19)计算。因此,按环境温度修正电动机的容量应根据具体情况确定。

14.3 交、直流电动机的启动方式及启动校验

14.3.1 电动机的启动条件

14.3.1.1 一般规定

《通用用电设备配电设计规范》(GB 50055—2011)

规范引用

2.2.1 电动机启动时,其端子电压应能保证机械要求的启动转矩,且在配电系统中引起的电压波动不应妨碍其他用电设备的工作。

2.2.2 交流电动机启动时,配电母线上的电压应符合下列规定:

1. 配电母线上接有照明或其他对电压波动较敏感的负荷,电动机频繁启动时,不宜低于额定电压的 90%;电动机不频繁启动时,不宜低于额定电压的 85%。

2. 配电母线上未接照明或其他对电压波动较敏感的负荷时,不应低于额定电压的 80%。

3. 配电母线上未接其他用电设备时,可按保证电动机启动转矩的条件决定;对于低压电动机,尚应保证接触器线圈的电压不低于释放电压。

2.2.3 笼型电动机和同步电动机启动方式的选择应符合下列规定:

1. 当符合下列条件时,电动机应全压启动:

1)电动机启动时,配电母线的电压符合《通用用电设备配电设计规范》(GB 50055—2011)第 2.2.2 条的规定。

2)机械能承受电动机全压启动时的冲击转矩。

3)制造厂对电动机的启动方式无特殊规定。

2. 当不符合全压启动的条件时,电动机宜降压启动,或选用其他适当的启动方式。

3. 当有调速要求时,电动机的启动方式应与调速方式相匹配。

2.2.4 绕线转子电动机宜采用在转子回路中接入频敏变阻器或电阻器启动,并应符合下列规定:

1. 启动电流平均值不宜超过电动机额定电流的 2 倍或制造厂的规定值。

2. 启动转矩应满足机械的要求。

3. 当有调速要求时,电动机的启动方式应与调速方式相匹配。

2.2.5 直流电动机宜采用调节电源电压或电阻器降压启动,并应符合下列规定:

1. 启动电流不宜超过电动机额定电流的 1.5 倍或制造厂的规定值。

2. 启动转矩和调速特性应满足机械的要求。

14.3.1.2 电动机启动条件检验

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

5.1.1.1 电动机的启动条件

电动机的启动方式一般分为直接启动和减压启动。启动时应满足下述条件:

(1)启动时,对电网造成的电压降不超过规定的数值,一般要求:经常启动的电动机,不大于 10%;偶尔启动时,不超过 15%。在保证生产机械所要求的启动转矩而又不致影响其他用电设备的正常工作时,其电压降可允许为 20%或更大一些。由单独变压器供电的电动机,其电压降允许值由传动机械要求的启动转矩来决定。

(2)启动功率不超过供电设备和电网的过载能力。对变压器来说,其启动容量如以每 24h 启动 6 次,每次启动时间为 15s 来考虑,当变压器的负载率小于 90%时,则最大启动电流可为变压器额定电流的 4 倍。

(3)电动机的启动转矩应大于传动机械的静阻转矩,即

$$U_M^* \geqslant \frac{1.1T_L^*}{T_a^*} \tag{14-16}$$

式中 U_M^*——启动时施加到电动机上的端电压标幺值;

T_L^*——传动机械静阻转矩标幺值,$T_L^* = T_L/T_N$;

T_a^*——电动机的启动转矩标幺值,$T_a^* = T_a/T_N$。

传动机械的静阻转矩一般可根据机械工艺资料计算出来,或由工艺设计资料提供。

(4)启动时,应保证电动机及启动设备的动稳定和热稳定性。

规范引用 《工业与民用配电设计手册》(第三版)

(1)启动时电动机端子电压应能保证传动机械要求的启动转矩,即

$$u_{stM} \geqslant \sqrt{\frac{1.1M_j}{M_{stM}}} \tag{14-17}$$

式中 u_{stM}——启动时电动机端子电压相对值,即端子电压与标称电压的比值;

M_{stM}——电动机启动转矩相对值,即启动转矩与额定转矩的比值;

M_j——电动机传动机械的静阻转矩相对值,常用数据参数见表 14-15。

表 14-15 常用电动机传动机械所需转矩相对值

传动机械名称	所需转矩相对值		
	启动静阻转矩	牵入转矩	最大转矩
离心式扇风机、鼓风机、压缩机和水泵			
管道阀门关闭时启动	0.3	0.6	1.5
管道阀门开启时启动	0.3	1.0	1.5
往复式空压机、氨压缩机和煤气压缩机	0.4	0.2	1.4
往复式真空泵(管道阀门关闭时启动)	0.4	0.2	1.6
皮带运输机	1.4～1.5	1.1～1.2	
球磨机	1.2～1.3	1.1～1.2	1.75
对辊、颚式和圆锥型破碎机(空载启动)	1.0	1.0	2.5
锤型破碎机(空载启动)	1.5	1.0	2.5
持续额定功率运行的交、直流发电机	0.12	0.08	1.5
允许 25%过负荷的交、直流发电机	0.18	0.1	2.0

(2)低压电动机启动时还应保证接触器线圈的电压不低于释放电压。

(3)结构特殊的大型高压电动机的启动方式应符合制造厂的规定。具体计算式如下述,电动机启动时间(s)为

$$t_{st}=\frac{J^2n_r^2}{365P_{rM}(u_{stM}^2M_{stp}-M_j)} \tag{14-18}$$

为使同步电动机铜制阻尼笼温度不超过 300℃,在冷却状态下连续启动两次(或在热状态下启动一次)时,电动机的最长允许启动时间(s)为

$$t_{st\cdot max}=\frac{235G}{P_{rM}u_{stM}^2M_{stp}} \tag{14-19}$$

式中 P_{rM}——电动机的额定功率(kW);

n_r——电动机的额定转速(r/min);

G——同步电动机阻尼笼中阻尼条的铜重(kg);

M_j——电动机传动机械的静阻转矩相对值;

J——机组转动惯量($Mg\cdot m^2$);

M_{stp}——电动机平均启动转矩相对值,同步电动机为 M_{stM},但当 $M_{stM}<M_y$ 时,为 $1.1M_{stM}$,普通笼型电动机为 $M_{stM}+0.2(M_{max}-M_{stM})$,JKZ 型高速笼型电动机为 $M_{stM}+0.25(M_{max}-M_{stM})$;

M_{stM}——电动机的启动转矩相对值;

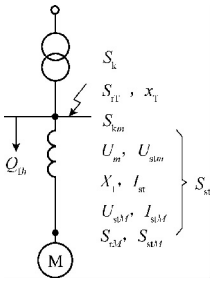
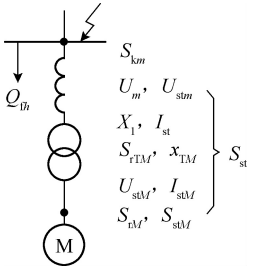
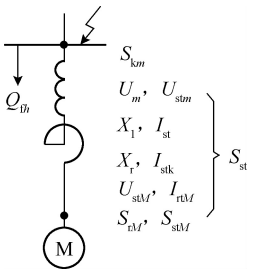
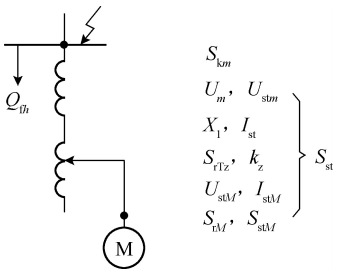
M_y——同步电动机的牵入转矩相对值;

M_{max}——电动机的最大转矩相对值。

14.3.1.3 电动机启动电压下降的计算

假定电动机投入运行前的母线电压等于网络标称电压,则启动时母线和电动机端子电压的计算见表 14-16。

表 19-16　无限大容量电源系统供电的电动机启动时电压下降计算

启动方式		全压启动	变压器－电动机组（全压启动）	电抗器降压启动	自耦变压器降压启动
计算电路					
启动回路的额定输入容量		$S_{st}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{S_{stM}}+\dfrac{X_1}{U_m^2}}$	$S_{st}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{S_{stM}}+\dfrac{x_{TM}}{S_{rTM}^2}+\dfrac{X_1}{U_m^2}}$	$S_{st}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{S_{stM}}+\dfrac{X_r}{U_m^2}+\dfrac{X_1}{U_m^2}}$	$S_{st}=\dfrac{1}{\dfrac{1}{k_z^2 S_{stM}}+\dfrac{X_1}{U_m^2}}$
电压相对值	母线	$u_{stm}=\dfrac{S_{km}+Q_{th}}{S_{km}+Q_{th}+S_{st}}$			
	电动机端子	$u_{stM}=u_{stm}\dfrac{S_{st}}{S_{stM}}$			$u_{stM}=u_{stm}\dfrac{S_{st}}{kS_{stM}}$
启动电流		$I_{st}=u_{stm}\dfrac{S_{st}}{\sqrt{3}U_m}$			
启动电流		I_{stM}	$I_{stM}=u_{stM}\dfrac{S_{st}}{\sqrt{3}U_{rM}}$	$I_{stM}=I_{st}$	$I_{stM}=u_{stM}\dfrac{S_{stM}}{\sqrt{3}U_{rM}}$
校验启动电器过负荷能力			$k_1=u_{stM}\dfrac{S_{stM}}{S_{rTM}}$	$I_{stk}>I_{st}\dfrac{t_{st}}{60}\cdot\dfrac{N}{2}$	$S_{rTz}>u_{stm}S_{st}\dfrac{t_{st}}{60}\cdot\dfrac{N}{2}$

续表

启动方式	全压启动	变压器—电动机组（全压启动）	电抗器降压启动	自耦变压器降压启动
符号说明	S_k—— 供电变压器一次侧短路容量(MV·A)； S_{sT}—— 供电变压器的额定容量(MV·A)； x_T—— 供电变压器的电抗相对值，取为阻抗电压相对值 u_T； S_{km}—— 母线短路容量(MV·A)； $$S_{km}=\frac{S_{rT}}{x_T+\frac{S_{rT}}{S_k}}$$ Q_{fh}—— 预接负荷的无功功率(Mvar)，在供电变压器二次侧母线上，可取 $0.6(S_T-0.75S_{rM})$，如预接负荷为 S_{fh}，其功率因数为 $\cos\varphi_{fh}$，则 $Q_{fh}=S_{fh}\sqrt{1-\cos^2\varphi_{fh}}$； X_1—— 导线穿管或≤10kV电缆的线路电抗(Ω)，取为 $0.08l$，长线路计入电阻因素时铜芯线取 $(0.08+6.1/S)l$，≤150mm² 时可取 $(18.3/S)l$，铝芯线取 $(0.08+10/S)l$，≤240mm² 时可取 $(30/S)l$，用于10kV交联聚乙烯电缆时0.08改为0.09，6kV纸绝缘时0.08改为0.07； S—— 导线或电缆芯的截面(mm²)； l—— 线路长度(km)	S_{rTM}—— 变压器电动机组的变压器额定容量(MV·A)； x_{TM}—— 变压器电动机组的变压器电抗相对值，取为阻抗电压相对值(u_{TM})； k_1—— 电动机启动时变压器输出电流与其额定电流的比值； S_{rM}—— 电动机额定容量(MV·A)，其值为 $\sqrt{3}U_{rM}I_{rM}$； S_{stM}—— 电动机额定启动容量(MV·A)，其值为 $k_{st}S_{rM}$； k_{st}—— 电动机额定启动电流倍数； I_{rM}—— 电动机额定电流(kA)； U_{rM}—— 电动机额定电压(kV)； S_{st}—— 电动机启动时启动回路的额定输入容量(MV·A)； I_{st}—— 电动机启动时启动回路的额定输入电流(kA)； I_{stM}—— 电动机启动电流(kA)；	X_r—— 每相电抗器额定电抗(Ω)； I_{stk}—— 电抗器启动电流(kA)，选取 $\geqslant I_{st}$； S_{rTz}—— 自耦变压器额定容量(MV·A)，选取 $\geqslant u_{stm}S_{st}$； k_z—— 自耦变压器变比； N—— 连续启动次数，按制造厂规定取2次； t_{st}—— 电动机启动一次的时间(s)； U_m—— 母线标称电压(kV)，$U_m=U_n$； U_n—— 网络标称电压(kV)； U_{stm}—— 电动机启动时母线电压(kV)； u_{stm}—— 电动机启动时母线电压相对值，即 $U_{stm}/U_m=U_{stm}/U_n$； U_{stM}—— 电动机启动时的端子电压(kV)； u_{stM}—— 电动机启动时的端子电压相对值，即 U_{stM}/U_{rM}	

(1)如果电动机启动回路的线路较短,则表 6-16 中 X_1 可以忽略,S_{st} 计算式中的有关项相应地也可忽略。

(2)表 14-16 中变压器—电动机组的变压器 STM 分接头为+5%,相当于变压器电压提升为 0。如果分接头为 0,则 S_{st} 及 u_{stM} 的计算式应为

$$S_{st}=\frac{1}{\frac{1}{1.05^2S_{stM}}+\frac{x_{TM}}{S_{rTM}}+\frac{X_1}{U_m^2}}=\frac{1}{\frac{1}{1.1S_{stM}}+\frac{x_{TM}}{S_{rTM}}+\frac{X_1}{U_m^2}} \tag{14-20}$$

$$u_{stM}=u_{stm}\frac{S_{st}}{1.05^2S_{atM}}\times 1.05=u_{stm}\frac{S_{st}}{1.05S_{stM}} \tag{14-21}$$

(3)表 14-16 中电抗器降压启动的 S_{st} 计算式及 I_{stk} 校验式适用于启动电抗器。如果用水泥电抗器,则计算式及校验式应分别改为

$$S_{rst}=\frac{1}{\frac{1}{S_{stM}}+\frac{x_k}{S_{rk}}+\frac{X_1}{U_m^2}} \tag{14-22}$$

$$I\sqrt{t}>0.9I_{stM}\sqrt{t_{st}N} \tag{14-23}$$

式中 x_k——水泥电抗器的电抗相对值;

S_{rk}——电抗器的额定通过容量(MV·A),其值为$\sqrt{3}U_{rk}I_{rk}$;

U_{rk}——电抗器的额定电压(kV);

I_{rk}——电抗器的额定电流(kA),选取 $I_{rk}\approx I_{rM}$;

I_{rM}——电动机的额定电流;

$I\sqrt{t}$——电抗器的热稳定度(kA·$s^{1/2}$);

N——电动机连续启动次数,一般取 2 次。

(4)电动机启动时,供电变压器容量的校验如下:若每昼夜启动不超过 6 次,每次持续时间不超过 15s,变压器的负荷率 β 小于 0.9(或 t 不超过 30s 而 β 小于 0.7)时,启动时的最大电流允许为变压器额定电流的 4 倍;若每昼夜启动 10～20 次,则允许最大启动电流相应地减为 3～2 倍。变压器—电动机组的变压器容量应大于电动机容量,经常启动或重载启动时,变压器容量应比电动机容量大 15%～30%。

(5)电动机启动时,母线上的电压下降相对值可用负荷变动量计算

$$\Delta u_{stm}=\frac{S_{st}}{S_{km}+Q_{fh}+S_{st}} \tag{14-24}$$

(6)如果电源容量不太大,发电机容量为电动机额定启动容量的 1～1.4 倍时,则母线电压的计算值需留裕量。

14.3.2 异步电动机的启动方式及启动校验

14.3.2.1 绕线转子异步电动机的启动

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

5.1.1.3 绕线转子异步电动机的启动

绕线转子异步电动机一般采用电阻分级启动或频敏变阻器启动两种方式。前者启动转矩大但控制较复杂,且启动电阻体积大、维修麻烦;而后者具有恒转矩的起制动特性,又是静

止元件,很少需要维修,因此除下列情况外,绕线转子异步电动机多采用频敏变阻器启动:

(1)有低速运转要求的传动装置;

(2)要求利用电动机的过载能力,承担启动转矩的传动装置,如加热炉的推钢机;

(3)初始启动转矩很大的传动装置,如球磨机、转炉倾动机构等。

1. 转子回路串接电阻启动

在三相绕线转子异步电动机的三相转子回路中分别串接启动电阻或电抗器,再加之电源及自动控制电路,就构成了三相绕线转子异步电动机的启动控制线路。图 14-5(方案 1)是转子回路中串接电阻的启动控制线路。方案 1 是通过欠电流继电器的释放值设定进行控制的,利用电动机转子电流大小的变化来控制电阻切除。图 14-6(方案 2)将主电路中的电流继电器去掉,通过时间继电器的定时设定来控制电阻切除。

2. 转子串频敏变阻器启动

频敏变阻器实质上是一个铁芯损耗非常大的三相电抗器。它由数片 E 形硅钢片叠成,具有铁芯、线圈两个部分,制成开启式,并采用星形连接。将其串接在绕线转子异步电动机转子回路中,相当于使其转子绕组接入一个铁损较大的电抗器。频敏变阻器的阻抗能够随着转子电流频率的下降自动减小,所以它是绕线转子异步电动机较为理想的一种启动设备。常用于较大容量的绕线式异步电动机的启动控制。

当电动机反接时,频敏变阻器的等效变阻器阻抗最大,从反接制动到反向启动过程中,其等效阻抗始终随转子电流频率的减小而减小,使电动机在反接过程中转矩亦接近恒定。因此频敏变阻器尤为适用于反接制动和需要频繁正、反转工作的机械。

频敏变阻器结构简单,占地面积小,运行可靠,无须经常维修,但其功率因数低、启动转矩小,对于要求低速运转和启动转矩大的机械不宜采用。绕线转于异步电动机采用频敏变阻器时的启动特性见图 14-7。

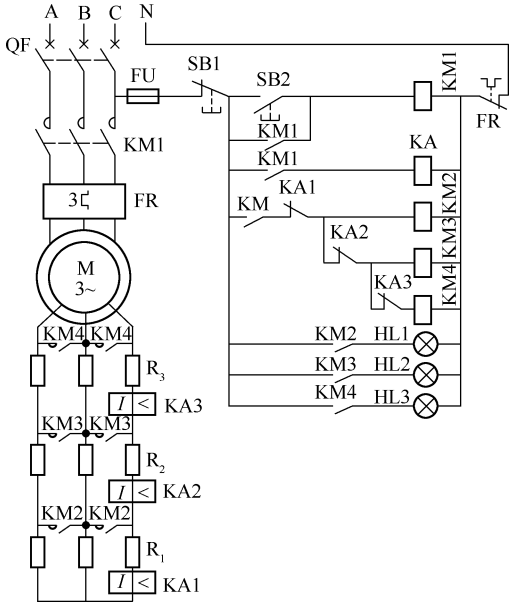


图 14-5 转子电路串电阻减压启动控制线路(方案 1)

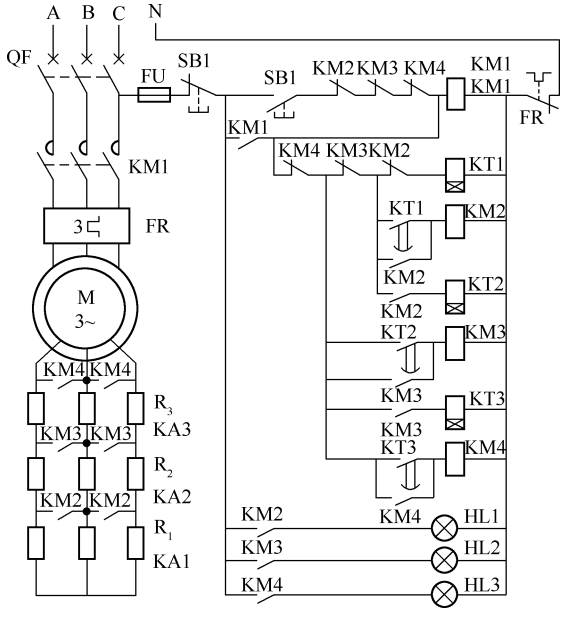
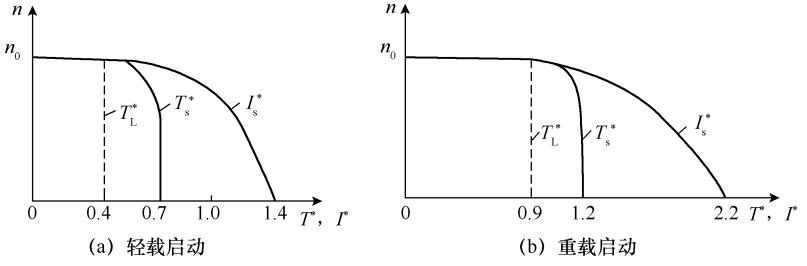


图 14-6 转子电路串电阻减压启动控制线路(方案 2)



T_L^* —负载转矩标幺值；T_s^* —启动转矩标幺值；I_s^* —启动电流标幺值

图 14-7 绕线转子异步电动机采用频敏变阻器时的启动特性

根据生产机械的负载特性，可按表 14-7 选择频敏变阻器的类型。目前生产的频敏变阻器系列产品属偶尔启动的有 BP1-2、BP1-3、BP2-7、BP6 等型，电动机最大容量达 2240kW；属重复短时工作的有 BP1-0、BP1-4、BP1-5、BP4 等型。

表 14-7 按机械负载特性选用频敏变阻器

启动负载性质		特征	传动设备举例
偶而启动	轻载	启动转矩 $T_g \geqslant (0.6 \sim 0.8) T_N$，阻转矩 $T_j < 05 T_N$，折算至电动机轴上的飞转力矩 GD^2 较小，启动时间 $t_g \leqslant 20s$	空压机、水泵、变流机等
	重轻载	启动转矩 $T_g \geqslant (0.9 \sim 1.1) T_N$，阻转矩 $T_j < 0.8 T_N$，折算至电动机轴上的飞转力矩 GD^2 较小，启动时间 $t_g > 20s$	锯床、真空泵、带飞轮的轧钢主电机
	重载	启动转矩 $T_g \geqslant (1.2 \sim 1.4) T_N$，阻转矩 $T_j < 0.8 T_N$，折算至电动机轴上的飞转力矩 GD^2 较小，启动时间介于轻载和重轻载	胶带运输机、轴流泵、排气阀打开启动的鼓风机

续表

启动负载性质	特征			传动设备举例
反复短时启动	第一类	启动次数 250 次/h，t_sZ[①] 值＜400s	T_s ≤1.5T_N	推钢机、拉钢机及轧线定尺移动
	第二类	启动次数＜400 次/h，t_sZ 值＜630s		出炉辊道、延伸辊道、检修吊车大小车
	第三类	启动次数＜630 次/h，t_sZ 值＜1000s		轧机前后升降台及真辊道、起重机的大小车
	第四类	启动次数＜630 次/h，t_sZ 值＜1600s		拔钢机、定尺辊道、翻钢机

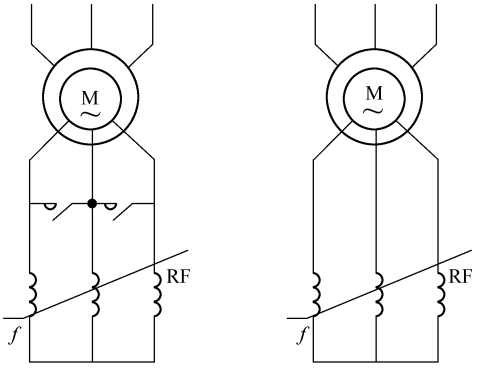
注：①t_sZ 值为每小时起动次数 Z(启动一次算一次，反接制动一次算三次，动力制动一次算一次)与每次启动时间 t_s 的乘积。无规则操作或操作极频繁的电动机，由于每次启动不一定升至额定转速，在设计中一般可取 t_g=1.5～2s。

偶尔启动用频敏变阻器，可采用启动后用接触器短接的控制方式，见图 14-8a。对于重复短时工作的频敏变阻器，为简化控制电路，可常接在转子回路中，见图 14-8b。

频敏变阻器的铁芯与轭铁间设有气隙，在绕组上留有几组抽头，改变气隙 δ 和绕组匝数，便可调整电动机的启动电流和启动转矩，其特性见图 14-9，可见：

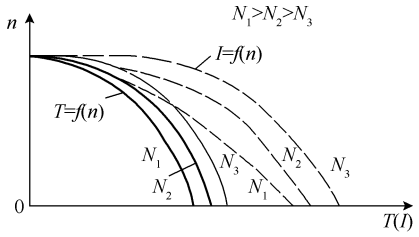
(1)启动电流过大及启动太快时，应增加匝数；反之，当启动电流过小及启动转矩不够时，应减少匝数，见图 14-9a。

(2)刚启动时，启动转矩过大，对机械有冲击，但启动完毕后，稳定转速低于额定转速；当短接频敏变阻器时，电流冲击较大，可增大气隙，但启动电流有所增大，见图 14-9b。

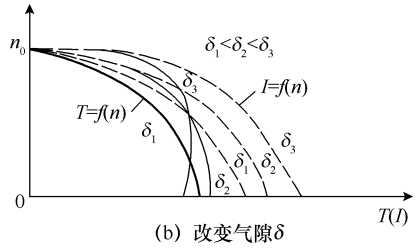


(a) 启动后切除　　(b) 常接在转子回路中

图 14-8　频敏变阻器接线



(a) 改变匝数N



(b) 改变气隙δ

图 14-9 改变频敏变阻器匝数和气隙时的特性

14.3.2.2 笼型转子异步电动机的启动

《电气传动自动化技术手册》(第三版)

5.1.1.4 笼型转子异步电动机的启动

笼型转子异步电动机应优先采用直接启动。当不允许直接启动时,可考虑减压启动。确定能否直接启动的条件,可参考表 14-18 和表 14-19 的数据。

表 5-8 列出了各种启动方式的特点及适用范围。

表 14-18 按电网容量允许直接启动的笼型电动机功率

电网	允许直接启动的笼型电动机功率
小容量发电厂	每 1kV·A 发电机容量为 0.1～0.12kW
变电所	经常启动时,不大于变压器容量的 20% 不经常启动时,不大于变压器容量的 30%
高压线路	不超过电动机连接线路上的短路容量的 3%
变压器－电动机组	电动机功率不大于变压器容量的 80%

1. 直接启动

(1)接通电流峰值(最大值),$I_a = 2\sqrt{2}I_{an}$,其中 I_{an}为启动电流;

(2)启动电流(有效值)I_{an}=(4～8.4)×额定电流 I_a(特殊情况下可达到 $13I_n$);

(3)空载电流 I_0=(0.95～0.20)I_n;

(4)启动时间 T_{an},在正常条件下 T_{an}<10s,在重载启动时 T_{an}>10s(验证电动机发热是必要的)。

表 14-19 6(10)/0.4kV 变压器允许直接启动笼型电动机的最大功率

变压器供电的其他负载 S_{fh}/kV·A 及其功率因数 cosφ	启动时的电压降 ΔU/(%)	供电变压器的容量 S_b/kV·A														
		100	125	160	180	200	250	315	320	400	500	560	630	750	800	1000
		启动笼型电动机的最大功率 P_d/kW														
$S_{fh}=0.5S_b$	10	22	30	30	40	40	55	75	75	90	110	115	135	155	180	215
cosφ=0.7	15	30	40	55	55	75	90	100	100	155	155	185	225	240	260	280
$S_{fh}=0.6S_b$	10	17	22	30	30	40	55	75	75	90	110	115	135	135	155	185
cosφ=0.8	15	30	30	55	55	75	90	100	100	155	185	185	225	240	260	285

注:表中所列是指电动机与变电所低压母线直接相连时的数据。

2. 星—三角减压启动

通过降低电动机绕组上的电压实现启动的接线方案中,转矩随电压降低而成二次方地下降,而电流随电压降低而呈线性下降。三相异步电动机在星—三角减压启动时,其启动电流仅为直接启动时的 1/3。电动机转矩也下降到原来的 1/3。星—三角减压启动只适用于启动那些在启动过程中负载转矩一直保持很小的三相交流电动机。

3. 定子串电阻减压启动方法

电动机启动时在三相定子电路中串接电阻。

4. 自耦变压器减压启动

适用于启动较大容量的电动机。

14.3.3 同步电动机的启动方式

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)



5.1.1.9 同步电动机的启动

由于同步电动机启动时对电网电压波动影响很大,因此必须按照本章 5.1.1.1 节的要求进行核算。

当电网容量足够大且允许直接启动时,应尽量采用直接启动;只有在电网和电动机本身结构不允许直接启动时,才可考虑采用电抗器或自耦变压器减压启动。对用大容量变流机组传动的同步电动机,可创造条件采用准同步启动。

1. 直接启动的条件

同步电动机是否允许直接启动,首先取决于电动机本身的结构条件,它由电机制造厂决定。如果不能取得电机制造厂资料,通常可按下述条件估算,符合下述条件时,可以直接启动。

对于 $U_N=3kV$ 的电动机

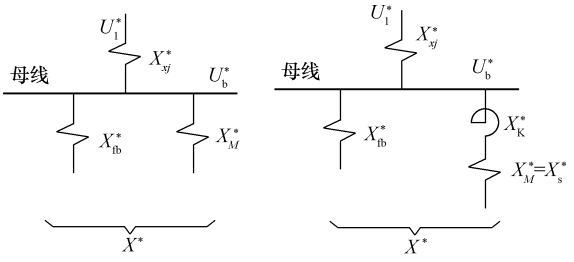
$$\frac{P_N}{\text{极对数}} \leqslant 250 \sim 300kW$$

对于 $U_N=6kV$ 的电动机

$$\frac{P_N}{\text{极对数}} \leqslant 200 \sim 250kW$$

其次,可按母线电压水平核算电动机是否允许直接启动。忽略有功电流及电阻的影响,

并假定启动前电源电压为恒定值，而且母线电压 U_b 等于额定电压 U_N。



(a) 直接启动　(b) 电抗器减压启动

(c) 自耦变压器减压启动

X_{xj}^*—系统电抗标幺值；U_1^*—电源电压标幺值；

X_{fh}^*—母线上负载电抗标幺值；X_M^*——电动机启动等效电抗标幺值

图 14-10　同步电动机启动时的等效电路

按图 14-10a 所示的等效电路，并已知母线上最小短路容量为 S_{d1}（并以 S_{d1} 作为基准值），则电动机允许直接启动的条件为

$$K_{is}S_N < \alpha(S_{d1} + Q_{fh}) \tag{14-25}$$

$$\alpha = \frac{1}{U_b^*} - 1 \tag{14-26}$$

当 $U_b^* = 0.8$ 时，$\alpha = \frac{1}{0.8} - 1 = 0.25$；

当 $U_b^* = 0.85$ 时，$\alpha = \frac{1}{0.85} - 1 = 0.176$；

当 $U_b^* = 0.9$ 时，$\alpha = \frac{1}{0.9} - 1 = 0.11$。

式中　K_{is}——额定电压时，电动机的启动电流倍数；

S_N——电动机的额定容量（MV·A）；

Q_{fh}——母线上负载的无功功率（Mvar）；

U_b^*——母线允许电压标幺值，$U_b^* = U_b/U_N$。

如能满足式(14-25)的要求，则可直接启动，否则应采取减压启动。

2. 电抗器减压启动

采用电抗器减压启动时，等效电路见图 14-10b。此时应保证

$$(U_{aN}^* U_a^*) T_a^* > 1.1 T_1^* \tag{14-27}$$

即

$$U_a^* > \frac{1.05}{U_{aN}} \sqrt{\frac{T_L^*}{T_a^*}} \tag{14-28}$$

式中 U_{aN}^{*}——电动机额定启动电压标幺值；

U_{a}^{*}——启动时电动机端电压标幺值；

T_{a}^{*}——额定电压下启动转矩标幺值，$T_{s}^{*}=T_{a}/T_{N}$；

T_{L}^{*}——机械的静阻转矩标幺值，$T_{L}^{*}=T_{L}/T_{N}$。

为了满足式(14-27)的要求，采用电抗器减压启动的条件为

$$U_{aN}^{*}\frac{S_{d1}+Q_{fh}}{K_{is}S_{N}}>\beta\sqrt{\frac{T_{L}^{*}}{T_{s}^{*}}} \tag{14-29}$$

$$\beta=\frac{1.05}{1-U_{b}^{*}} \tag{14-30}$$

当 $U_{b}^{*}=0.8$ 时，$\alpha=\dfrac{1.05}{1-0.8}=5.25$；

当 $U_{b}^{*}=0.85$ 时，$\alpha=\dfrac{1.05}{1-0.85}=7$；

当 $U_{b}^{*}=0.9$ 时，$\alpha=\dfrac{1.05}{1-0.9}=10.5$。

如不能满足式(14-30)的要求，则应采用自耦变压器减压启动，见图 14-10c。

图 14-11 所示为同步电动机采用电抗器减压启动电路简图，电抗器 L 每相电抗值 X_{L}(Ω)可用下式估算；

$$X_{L}=\frac{U_{N}}{\sqrt{3}I_{a}^{*}}-X_{m} \tag{14-31}$$

式中 I_{a}^{*}——接入电抗器后电动机的启动电流(A)；

X_{m}——当 $s=1$ 时，电动机定子每相的电抗(Ω)。

上式计算简便，可用在工程设计中的估算，但计算出的 X_{L} 值偏大。

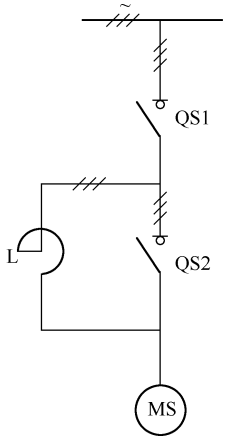


图 14-11 同步电动机采用电抗器降压启动电路简图
(启动：QS1 闭合，QS2 断开；运转：QS1、QS2 均闭合)

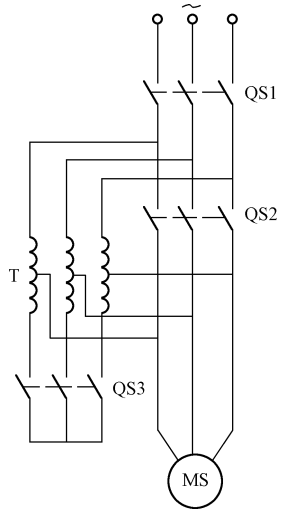


图 14-12 同步电动机用自耦变压器减压启动时的电路
(启动：QS1、QS3 闭合，QS2 断开；运转：QS3 断开，QS1、QS2 闭合)

3. 自耦变压器减压启动

如果用电抗器减压启动不能满足要求，则应采用自耦变压器减压启动。图 14-12 所示为采用自耦变压器减压启动时的电路。由于定子侧要用三台高压开关，因此这种启动方式投资较高。但是在获得同样启动转矩的情况下，其启动电流较小。两种启动方式的比较见表 14-20。

表 14-20 同步电动机两种启动方式比较表

减压启动方式	电抗器减压启动	自耦变压器减压启动
电动机启动电压	αU_N	αU_N
电动机启动电源	αI_s	$\alpha^2 I_s$
电动机启动转矩	$\alpha^2 T_a$	$\alpha^2 T_s$

注：α——压降系数($\alpha<1$)，对自耦变压器为电压比。

I_s——直接启动时的启动电流。

T_a——直接启动时的启动转矩。

图 14-10c 为自耦变压器减压启动等效电路，启动时，必须满足下述条件：

$$(U_b^* K_b)^2 T_a^* > 1.1 T_L^* \tag{14-32}$$

式中 K_b——自耦变压器的电压比。

为满足式(14-32)的要求，其启动条件为

$$\delta = \frac{S_{d1} + Q_{fh}}{K_{is} S_N} > 1.1 \frac{T_L^*}{T_a^*} \tag{14-33}$$

$$\delta = U_b^* (1 - U_b^*) \tag{14-34}$$

当 $U_b^* = 0.8$ 时，$\delta = 0.8 \times (1-0.8) = 0.16$；

当 $U_b^* = 0.85$ 时，$\delta = 0.8 \times 5(1-0.85) = 0.128$；

当 $U_b^* = 0.9$ 时，$\delta = 0.9 \times (1-0.9) = 0.09$。

4. 变频启动

随着大功率晶闸管变流器的发展，对大功率同步电动机和大型蓄能电站发电机及电动机组可以采用静止变频装置实现平滑启动，其特点是：

(1)启动平稳，对电网冲击小；

(2)由于启动电流冲击小，不必考虑对被启动电动机的加强设计；

(3)启动装置功率适度，一般约为被启动电动机功率的 5%～7%(视启动时间、飞轮力矩和静阻转矩而异)；

(4)若干台电动机可公用一套启动装置，较为经济；

(5)由于是静止装置，便于维护。

图 14-13 所示为采用晶闸管变频装置启动大功率同步电动机的原理图，采用交－直－交变频电路，通过电流控制实现恒加速度启动，当电动机接近同步转速时进行同步协调控制，直至达到同步转速后，通过开关切换使电动机直接投入电网运行。用此种方法可启动功率为数千至数万千瓦的同步电动机或大型蓄能机组。

5. 准同步启动

用同步电动机拖动的大功率变流机组，由于其整个传动系统的 GD^2 很大，启动很慢，因此，为省去庞大的减压启动设备(自耦变压器或电抗器等)和尽量减小启动时对电网的冲击，也可以采用准同步启动(见图 14-14)。

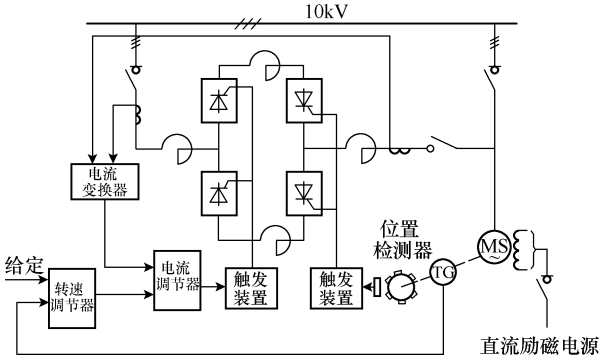


图 14-13 采用晶闸管变频装置启动同步电动机的原理图

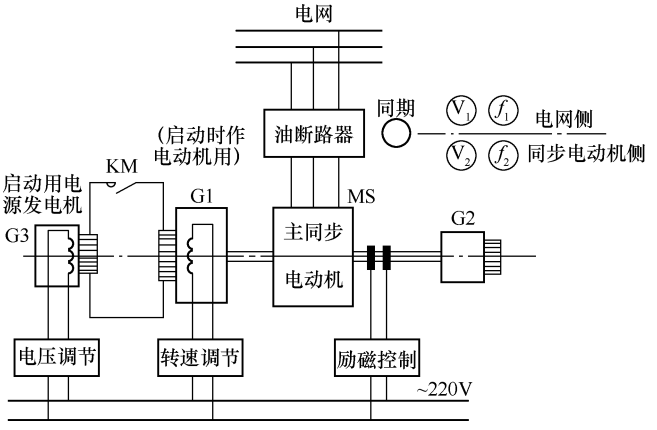


图 14-14 准同步启动

其启动方式是:选择机组中的某一台直流发电机(如图 14-14 中的 G1)作为电动机用,然后另外用一台功率约为被启动电动机功率的 5%～10%(视静阻转矩、GD^2 和启动时间而定)的发电机或可调直流电源对其进行供电。启动时,同步电动机定子断路器不能合闸,先使发电机 G3 的电压由零逐渐增高,利用 G1 拖动整个机组由零速逐渐加速,待其转速达到同步转速后,给同步电动机加上励磁。当同步电动机定子电压的频率、幅值和相位与电网电压完全一致时,接通定子电路的断路器,使同步电动机并入电网,并同时切断 G1 的直流供电电源,完成启动。这种方法启动平稳,无冲击,但要求另备一套功率较小的可调直流电源。

6. 分绕组启动

对于大功率低速同步电动机,也可用分绕组启动(见图 14-15)。电动机由两套绕组组成。启动时,先只接通其中一套绕组,待接近同步转速时再接通另一套绕组(与其并联)。这种限制启动电流的方法简单而经济,但仅适于极数多的低速同步电动机空载或轻载启动。

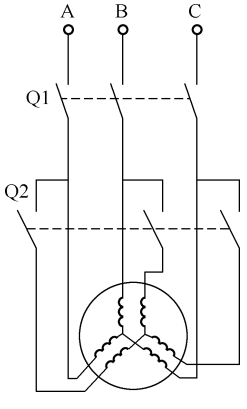


图 14-15 分绕组启动

14.3.4 直流串励电动机的启动方式

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

5.1.1.10 直流串励电动机的启动

直流串励电动机,由于其机械特性为非线性,采用分析法计算较困难,通常多采用图解法,其计算步骤如下:

(1)绘制电动机的自然机械特性曲线。根据电动机的特性数据绘制 $I=f(n)$ 特性曲线。如果得不到电动机数据,可采用图 14-16 所示的通用特性曲线。

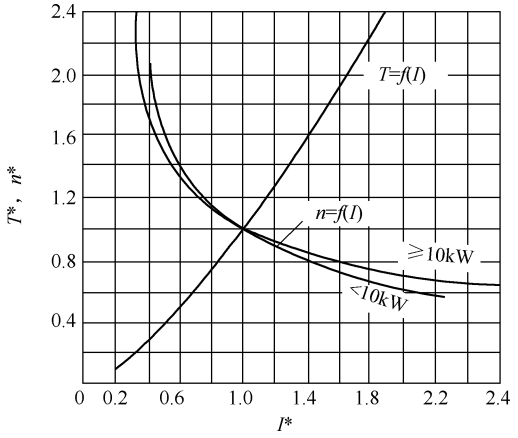


图 14-16 ZZ 系列串励直流电动机的通用特性曲线

(2)根据传动装置允许的最大启动电流 I_1,确定电动机电枢回路的总启动电阻(Ω)

$$R_s = \frac{U_N}{I_1}$$

(3)根据已定的启动级数及假定的切换电流 I_2,求出电动机接入总启动电阻时的转速 n_2 (r/min)(图 14-17b 中的 b 点)

$$n_2 = n_1 \frac{U_N - I_2 r_a}{U_N - I_2 r_N} \tag{14-35}$$

式中 n_1——自然机械特性曲线上 h 点的转速(r/min);

U_N——外加直流额定电压(V);

r_N——电动机电枢回路总内阻(Ω),$r_N = r_a + r_{eq}$;

r_a——电动机电枢和补偿极以及电刷电阻之和(Ω);

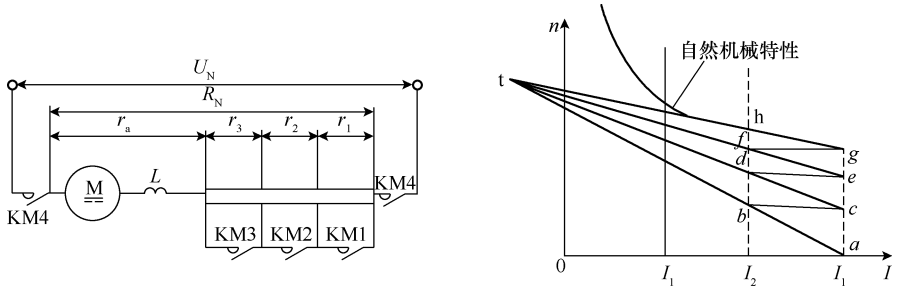
r_{eq}——电动机串励绕组电阻(Ω),$r_{eq} = r_1 + r_2 + r_3$。

(4)根据已定的 I_1 和 I_2 值,在自然机械特性曲线上找出相应的 g 点和 h 点,并在人工机械特性曲线上找出相应的 a 点和 b 点。通过 g、h 与 a、b 点分别画两条直线交于 t 点。

(5)在 I_1 与 I_2 之间绘制三级启动曲线,如果作出的启动特性与自然机械特性的交点正合适,则表明所取的 I_1、I_2 值合适,否则应改变 I_1 值,重新绘制启动特性,直到合适为止。

(6)求启动时的外接电阻及各级电阻值(Ω)

$$R_q = R_s - r_N$$



(a) 启动电路简图　　(b) 启动特性

图 14-17　串励直流电动机启动特性

$$\left.\begin{aligned} r_1 &= \frac{ac}{ga}R_q \\ r_2 &= \frac{ce}{ga}R_q \\ r_3 &= \frac{eg}{ga}R_q \end{aligned}\right\} \tag{14-36}$$

式中　R_q——启动时外接的总电阻(Ω)；

r_1、r_2、r_3——各级的启动电阻值(Ω)。

14.4　交、直流电动机调速技术

14.4.1　直流电动机调速方法

14.4.1.1　概述

规范引用　《电气传动自动化技术手册》(第三版)

6.1.1　直流电动机的调速原理

直流电动机的机械特性方程式为

$$n = \frac{U}{C_e\phi} - \frac{R_0}{C_eC_T\phi^2}T = n_0 - \frac{R_0}{C_eC_T\phi^2}T \tag{14-37}$$

式中　n_0——理想空载转速，$n_0 = U/C_e\phi$；

U——加在电枢回路上的电压；

ϕ——电动机磁通；

R_0——电动机电枢回路的电阻；

C_e——电动势常数；

C_T——转矩常数；

T——电动机转矩。

由式(14-37)可知，改变 R、U 及 ϕ 中的任何一个参数，都可以改变电动机的机械特性，从而对电动机进行调速。

6.1.1.1 改变电枢回路电阻调速

从式(14-37)可知,当电枢回路串联附加电阻 R 时(见图 14-18),其特性方程式变为

$$n = n_0 - \frac{R_0 + R}{C_e C_T \phi^2} T \tag{14-38}$$

式中 R_0——电动机电枢电阻;

R——电枢回路串联的附加电阻。

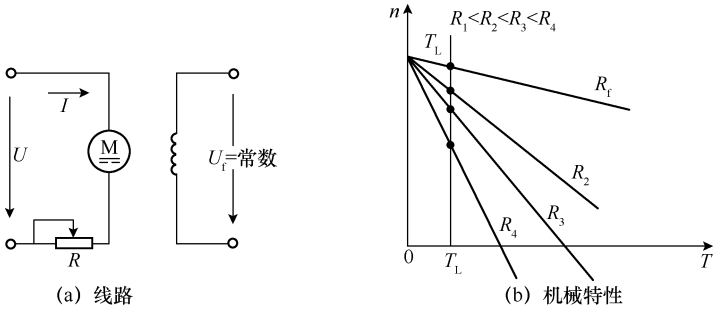


图 14-18 直流电动机电枢回路串联电阻调速

即电动机电枢回路中串联附加电阻时,特性的斜率增加。在一定负载转矩下,电动机的转速下降增加,因而电动机的实际转速降低了。图 14-18 所示为附加电阻值不同时的一组特殊曲线。如果负载转矩 T_L 为常数,则

$$n = n_0 - \frac{T_L}{C_e C_T \phi^2} R_0 - \frac{T_L}{C_e C_T \phi^2} R = A - BR \tag{14-39}$$

式中 $A = n_0 - \frac{T_L}{C_e C_T \phi^2} R_0$, $B = \frac{T_L}{C_e C_T \phi^2}$。

式(14-39)表明了控制量 R 与被控制量 n 之间的关系,其调速特性见图 14-19。

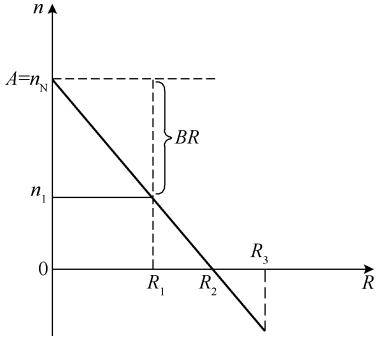


图 14-19 电枢串联电阻时的调速特性

由图 14-19 可知,当 $R=0$ 时,电动机工作在额定转速 n_N。

(当外加电压及励磁电流均为额定值时);当 $R=R_1$ 时,转速为 n_1,并且 $n_1<n_N$;当 $R=R_2$ 时,电动机堵转($n=0$),这时

$$R_2 = \frac{U}{I_L} - R_0 \tag{14-40}$$

式中 I_L——产生足以平衡负载转矩 T_L 所需要的电流,$I_L = T_L/(C_T\phi)$。

当 $R>R_2$ 时,转速变为负值,即电动机将要反转,这种情况称为负载倒拉反转制动(如为了平稳而缓慢地下放重物)。这时可以加大 R,使电动机产生的转矩小于 T_L,电动机减速,

直到停止,在重物的作用下,电动机又反向转动,重物以低速下放。但要注意,这时不能断开电动机的电源,否则由于没有电动机的制动转矩,会使重物越降越快,容易发生事故。

用这种方法调速,因其机械特性变软,系统转速受负载的影响较大,轻载时达不到调速的目的,重载时还会产生堵转;而且在串联电阻中流过的是电枢电流,长期运行损耗也大,所以在使用上有一定的局限性。

电枢回路串电阻的调速方法属于恒转矩调速,并且只能在需要向下调速时使用。在工业生产中,小容量时,可串联一台手动或电动变阻器来调速;容量较大时,多用继电器-接触器系统来切换电枢串联电阻,故属于有级调速。

6.1.1.2 改变电枢电压调速

当改变电枢电压时,理想空载转速 n_0' 也将改变,但机械特性的斜率不变,这时机械特性方程为

$$n=\frac{U'}{C_e\phi}-\frac{R}{C_eC_T\phi^2}T=n_0'-K_mT \tag{14-41}$$

式中 U'——改变后的电枢电压;

n_0'——改变电压后的理想空载转速,$n_0'=U'/C_e\phi$;

K_m——特性曲线的斜率,$K_m=R/(C_eC_T\phi^2)$。

其特性曲线是一簇以 U' 为参数的平行直线,见图 14-20。由图 14-20 可见,在整个调速范围内均有较大的硬度,在允许的转速变化率范围内,可获得较低的稳定转速。这种调速方式的调速范围较宽,一般可达 10~12,如果采用闭环控制系统,调速范围可达几百至几千。

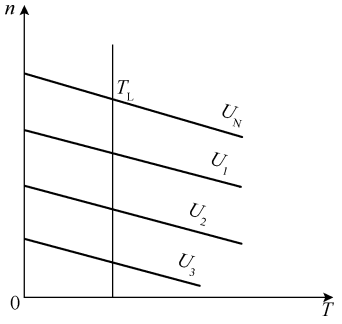


图 14-20 改变电枢电压调速时的机械特性

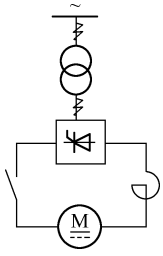
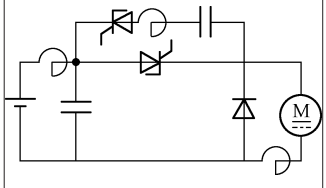
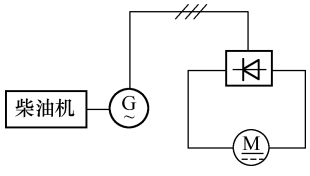
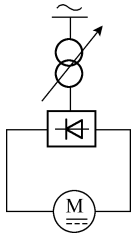
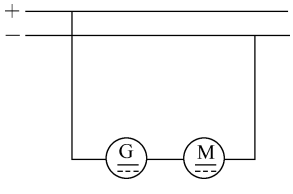
改变电枢电压调速方式属于恒转矩调速,并在空载或负载转矩时也能得到稳定转速,通过电压正反向变化,还能使电动机平滑地启动和在四个象限工作,实现回馈制动。这种调速方式控制功率较小,效率较高,配上各种调节器可组成性能指标较高的调速系统,因而在工业中得到了广泛的应用。

为了改变电动机的电枢电压,需要有独立的可调压的电源,一般采用的有直流发电机、晶闸管变流器和由各种电力电子器件构成的直流电源等,各种方案的比较见表 14-21。

表 14-21 直流电动机改变电压调速的方法

变压方法	原理电路	装置组成	性能及适用场合
电动机-发电机组(旋转变流机组)	~ M 3~ G M	原动机可用同步电动机、绕线转子异步电动机(包括带飞轮和转差调节的机组)、笼型异步电动机、柴油机等。励磁方式有励磁机、电机扩大机、磁放大器和晶闸管励磁装置等。控制方式有继电器-接触器、磁放大器和半导体控制装置等	输出电流无脉动,带飞轮的机组对冲击负载有缓冲作用,带同步电动机的机组能提供无功功率,改善功率因数。因为有旋转机组,效率较低,噪声、振动大。继电器-接触器和电机扩大机控制时,控制功率大,构成闭环系统一般动态指标较差,用晶闸管励磁可提高动态指标

续表

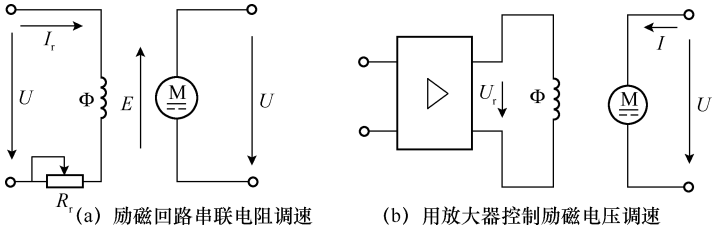
变压方法	原理电路	装置组成	性能及适用场合
晶闸管变流器		包括变流变压器、晶闸管变流效率高，噪声、振动小，控制功率小，构成装置、平波电抗器和半导体控制装置等	闭环系统动态指标好。但输出电流有脉动，深控时功率因数低，对电网的冲击和谐波影响大
直流斩波器		包括晶闸管(或其他电力电子器件)、换相电感电容、输入滤波电感电容及半导体控制装置等	适用于由公共直流电源或蓄电池及恒定电压直流电源供电的场合，如电机车、蓄电池车等电动车辆
柴油交流发电机－硅整流器		柴油交流发电机、硅整流装置及相应的控制装置等	改变变流发电机电压，经硅整流装置整流得到可变直流电压，用于电动轮车等独立电源场合
交流调压器硅整流器		调压变压器、硅整流装置等	效率高，噪声、振动小，输出电流脉动较小，比晶闸管供电功率因数有改善，但实现自动调速较困难。适用于不经常调速的小功率(215kW)手动开环控制场合
升压机组		与公共直流电源串联的直流发电机或晶闸管交流装置及相应的控制装置	适用于公共直流电源供电场合，设备较经济，但调速范围不大

6.1.1.3 改变磁通调速

在电动机励磁回路中，改变其串联电阻 R_r 的大小(见图 14-21a)或采用专门的励磁调节器来控制励磁电压(见图 14-21b)，都可以改变励磁电流和磁通。这时电动机的电枢电压通常保持为额定值 U_N，因为

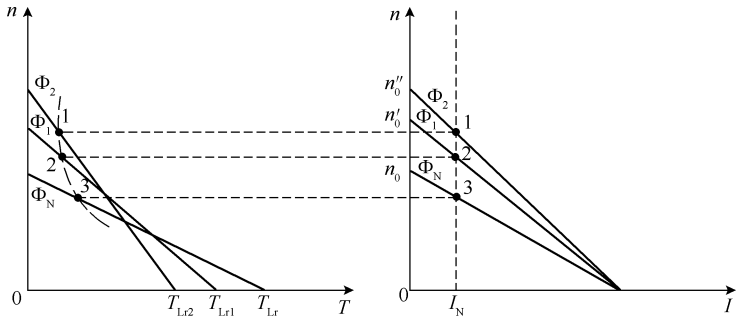
$$n=\frac{U_N}{C_e\phi}=\frac{R}{C_eC_T\phi^2}T=\frac{U_N}{C_e\phi}-\frac{R}{C_e\phi}I \tag{14-42}$$

所以,理想空载转速($U_N/(C_e\phi)$)与磁通(ϕ)成反比;电动机机械特性的斜率与磁通的二次方成反比。此时,转矩和电流与转速的关系见图 14-22。



(a) 励磁回路串联电阻调速　　(b) 用放大器控制励磁电压调速

图 14-21　直流电动机改变磁通的调速线路



(a) $n=f(T)$ 曲线　　(b) $n=f(I)$ 曲线

图 14-22　调磁通时 $n=f(T)$与 $n=f(I)$曲线

在调速过程中,为使电动机容量得到充分利用,应该使电枢电流一直保持在额定电流 I_N 不变,见图 14-22b 中垂直虚线。这时,磁通与转速成双曲线关系,$\phi \propto 1/n$,即 $T \propto 1/n$(见图 14-22a中的虚线)。在虚线左边各点工作时,电动机没有得到充分利用;在虚线右边各点工作时,电动机过载,不能长期工作。因此,改变磁通调速适合于带恒功率负载,即为恒功率调速。

改变励磁进行调速时,在高速下由于电枢电流去磁作用增大,使转速特性变得不稳定,换向性能也会下降。因此,采用这种方法的调速范围很有限。无换向极电动机的调速范围为基速的 1.5 倍左右,有换向极电动机的调速范围为基速的 3～4 倍,有补偿绕组电动机的调速范围为基速的 4～5 倍。

三种调速方式的性能比较见表 14-22。

表 14-22　调速方式的性能比较

调速方式和方法		控制装置	调速范围	转速变化率	平滑性	动态性能	恒转矩或恒功率	效率
改变电枢电阻	串电枢电阻	变阻器或接触器、电阻器	2∶1	低速时大	用变阻器较好,用接触器和电阻器较差	无自动调节能力	恒转矩	低

续表

调速方式和方法		控制装置	调速范围	转速变化率	平滑性	动态性能	恒转矩或恒功率	效率
改变电枢电压	电动机—发电机组	发电机组或电机扩大机(磁放大器)	1∶10～1∶20	小	好	较好	恒转矩	60%～70%
	静止变流器	晶闸管变流器	1∶50～1∶100	小	好	好	恒转矩	80%～90%
	斩波器(脉冲调制)	IGBT 或晶闸管开关电路	1∶50～1∶100	小	好	好	恒转矩	80%～90%
改变磁通	串联电阻或用可变直流电源	直流电源变阻器	1∶3～1∶5	较大	较好	差	恒功率	80%～90%
		电机扩大机或磁放大器			好	较好		
		晶闸管变流器				好		

14.4.1.2 直流传动系统的调速方案选择

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

6.1.2 发电机—电动机组调速系统

直流发电机—直流电动机组成的调速系统见图 14-23。

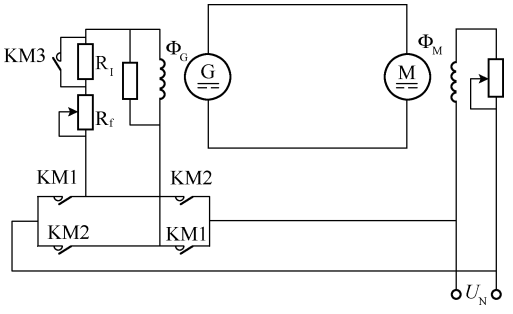


图 14-23 发电机—电动机组调速系统

电枢主回路由一台直流发电机对一台直流电动机供电,电动机速度连续可调,并且在电动机额定电枢电压以下,靠调整发电机输出端电压(调压调速)来调整电动机转速,当电动机电压达到额定值以后,靠减弱电动机励磁电流,电动机升速一直达到电动机最高额定转速。

近年来,在发电机励磁和电动机励磁回路中,多采用晶闸管变流器传动方案,用控制两套晶闸管装置输出电压分别改变发电机输出电压和电动机励磁电流,实现速度控制,对于需要正/反转的可逆直流调速系统,通常发电机励磁晶闸管装置为双向可逆装置,而电动机晶闸管装置为单向不可逆装置。

6.1.3 斩波器调速系统

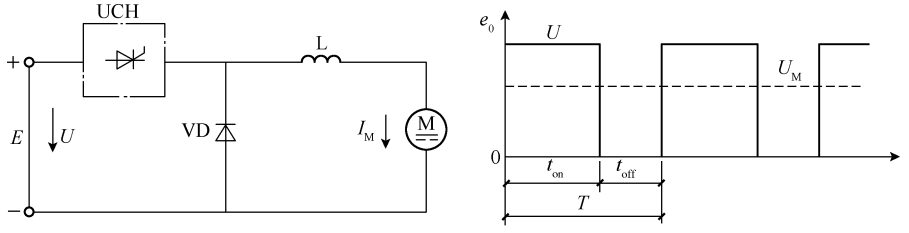
6.1.3.1 基本工作原理及电路结构

斩波器是一种采用电力电子开关的调速系统。它能从恒定的直流电源产生出经过斩波的可变直流电压,从而达到调速的目的。

1. 降压斩波器

图 14-24 示出了一个简单的降压斩波器调速系统电路和斩波后的电压波形。在图 14-24a 中,UCH 是斩波器,E 是一个恒压的直流电源,VD 是续流二极管,L 是平波电抗器。在 t_{on}期间内,UCH 导通,电源 E 和直流电动机 M 接通;在 t_{off}期间内,UCH 关断,电动机电枢电流 I_M经 VD 流通。加在电动机 M 上的平均电压为

$$U_M = U\frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} = U\frac{t_{on}}{T} = kU \tag{14-43}$$



(a) 系统电路　　(b) 斩波后波形

图 14-24　简单的斩波器调速系统

式中　t_{on}——导通时间;

t_{off}——关断时间;

U——恒压电源电压值;

T——斩波周期,$T = t_{on} + t_{off}$;

k——工作率,$k = t_{on}/T$。

由式(14-43)可知,改变 k 就可以改变 U_M,从而进行调速。k 的改变可以有以下两种方法;

(1)恒频系统。

T 保持不变(即频率不变),只改变 t_{on}即脉宽调制(PWM)方式。

(2)变频系统。

改变 T(即改变频率),但同时保持 t_{on}不变或者保持 t_{off}不变,即频率调制(FM)方式。

变频系统的频率变化范围必须与调压(即调速)范围相适应。因而在调压范围较大时,频率变化范围也必须大,这就给滤波器的设计带来困难,同时对信号传输和通信的干扰可能性也加大。另外,在输出电压很低时,其频率也低,较长的关断时间容易使电动机电流断续。所以,斩波器调速应优先选用恒频系统。

6.1.3.2 可逆斩波电路

在直流电动机的斩波控制中,常常需要使电动机正转和反转、电动运行和再生制动。上述降压斩波器是在第 1 象限工作,而升压斩波器则在第 2 象限工作。在从电动状态到再生制动状态切换时,可以通过改变电路连接方式来实现,但在要求快速响应的情况下,就需要

用门极信号平稳地从电动过渡到再生，使电压和电流都是可逆的。复合斩波器是将基本的降压和升压斩波器组合起来，组成在两象限工作的电流可逆斩波器，或能够在四象限工作的桥式可逆斩波器。

6.1.4 晶闸管变流器的主电路方案

6.1.4.1 电枢回路晶闸管不可逆系统

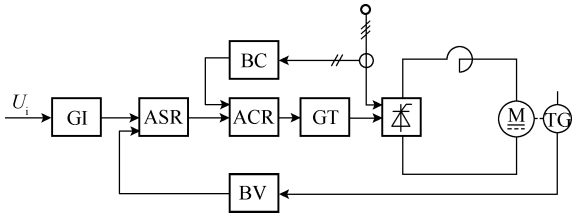
1. 电枢调压控制系统

典型的晶闸管变流器控制的直流电动机不可逆调压调速系统中包括两个环，内环是电流控制环，外环是转速控制环。每个环都含有一个调节器（速度调节器 ASR 及电流调节器 ACR），它们是比例积分（PI）环节或比例积分微分（PID）环节，用来改善系统的静态和动态特性，以及综合输入和反馈信号。

当电网或电动机负载发生变化或有其他扰动时，通过转速控制环，系统能起自动调节和稳定的作用。

电流控制环在系统中是一个从属环。速度调节器的输出作为电流调节器的给定值，速度调节器输出的最大值，通常与系统允许的最大工作电流值相适应。从而在突加给定时，启动电流保持在最大值，并使系统有最大的加速度，启动时间最短。由于电流控制环中不包括电动机机械惯量（大时间常数的积分环节），因此其快速性较好。当电网电压突变或机械负载发生很大变化时，能很快进行控制，恢复时间较短；当负载电流超出允许最大电流时，电流调节器使变流器的输出迅速下降，电动机进入堵转状态，起到了限流保护作用。

图 14-25 中 GI 为给定积分器，其输出电压是按一定速率变化的电压，用于要求有恒定加减速度的场合。



GI—给定积分器；ASR—速度调节器；ACR—电流调节器；
CT—触发器；BV—速度变换器；BC—电流变换器；TG—测速发电机

图 14-25 不可逆双环调速系统

在不可逆系统中，由于晶闸管整流桥具有单向导电特性，故在制动时不能提供制动转矩，只能靠摩擦阻力进行自由停车。如果要加快制动，可以在电动机主电路中加入能耗（动力）制动环节。

对调速范围要求较低的场合，可用电压负反馈或电动势负反馈代替转速负反馈来构成自动调速系统。

2. 电枢调压和减弱磁场控制

在很多应用场合，为了进一步扩大调速范围，除采用调压调速外，同时还采用弱磁调速。为此，需要将调压与调磁两者结合起来，并能在两种调速方式的分界线上（基速）实行自动切换。图 14-26 所示为同时采用两种调速方法时在整个调速范围内的电动机的调速特性。

（1）调压调磁独立控制。

所谓独立控制系统，是指在这种系统中，电动机的励磁不受电枢电压的控制，见图 14-27。

电动机电枢为电压闭环控制，电动机励磁为励磁电流闭环控制，两者相互独立。电动机

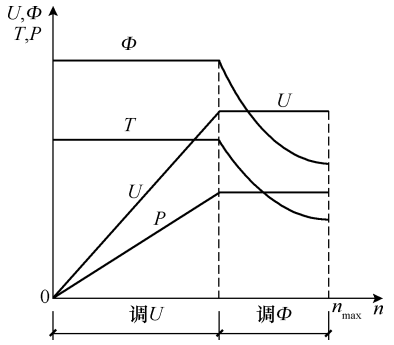
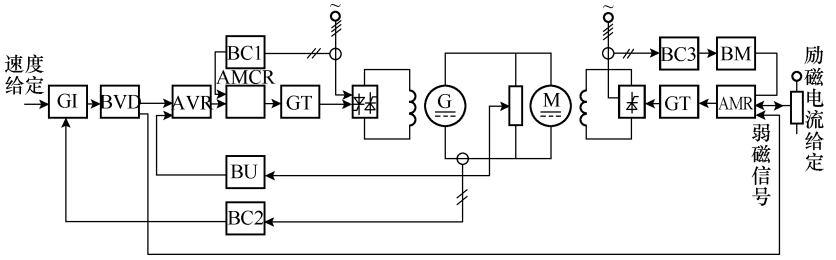


图 14-26 调压与调磁时电动机的调速特性



BVD—速度分配器;AVR—电压调节器;AMCR—励磁电流调节器;
BU—电压变换器;BM—磁通变换器;GI—给定积分器;BC2—主电流变换器;
BC1—发电机励磁电流变换器;AMR—磁通调节器;
BC3—电动机励磁电流变换器;GT—触发器

图 14-27 调压调磁独立控制

的电枢电压调节,依据电压给定信号和电压闭环控制实现调压调速;电动机励磁回路依据励磁电流给定和励磁闭环控制,改变电动机励磁电流实现弱磁升速控制,拓宽速度调节范围。

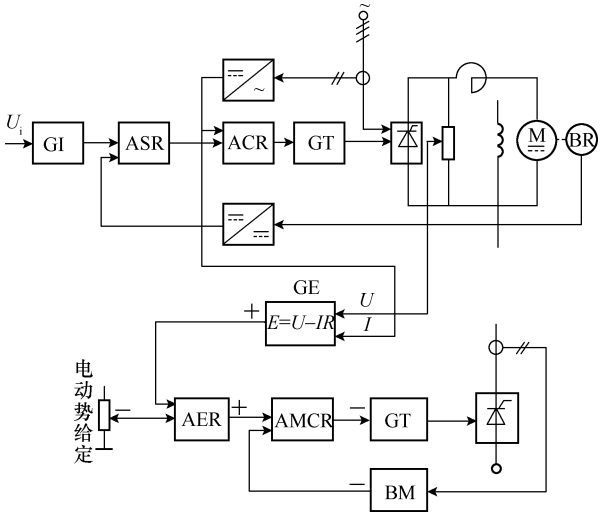
在一般情况下,电动机电压的给定和励磁电流的给定是分别由人工独立设定、由两个给定装置分别实现的。电动机励磁强弱只服从于励磁电流给定的大小,而不受电枢电压变化的影响。因而难于做到在转速低于额定值时,维持电动机励磁电流额定,随电枢电压变化调节电动机转速,达到额定电枢电压及额定电动机转速,实现恒磁调压控制(即恒转矩控制)。而当转速达到及超过额定值后,再维持电枢电压恒定通过减弱电动机励磁,进入弱磁调速控制范围,实现电动机恒压弱磁控制(即恒功率控制),并达到先升压后弱磁的效果。

因为在低转速条件下弱磁,将使直流电动机的转矩达不到充分利用,同时由于电枢控制的主反馈为电压反馈,转速为开环,因而速度控制达不到很高的精度,随着直流传动控制技术的不断发展,这种独立控制的调压调磁调速控制已很少应用。

(2)调压调磁非独立控制。

在非独立控制系统中,电动机的励磁与其电枢电压之间有一定的联系,并受电枢电压控制。图 14-28 所示是一个非独立控制系统的例子。在基速以下,电动机的调速是用恒磁调压来实现的,此时励磁电流给定值恒定不变;而在基速以上的调速,则是用恒压调磁来实现的。系统的给定信号是统一的,但从调压到调磁的转换则通过由电动势运算 GE 和电动势调节器 AER 自动进行切换。即基速以下电动势给定值大于电动势运算器 GE 的输出值时,电动势调节器 AER 处于饱和状态,其限幅值就是满磁给定值,并加到励磁电流调节器 AMCR 上,靠 AMCR 来保证额定励磁电流不变。当电动机转速升高到 95%额定值左右,GE 的

输出增加到使 AER 退出饱和，从而减小了励磁电流的给定值，实现了弱磁调速。在弱磁调速阶段内，电动势环起调节作用。只要电动机的实际转速还没有达到给定值，电枢电流中仍存在加速电流，电动势就要上升，再经过 AER 使励磁电流继续减小，使转速继续上升，同时维持电动势值恒定，直到稳态。



GI—给定积分器；ASR—速度调节器；ACR—电流调节器；AMR—磁通调节器；
BM—磁通变换器；GE—电动势运算器；AER—电动势调节器；
AMCR—励磁电流调节器；GT—触发器

图 14-28 调压调磁非独立控制系统

6.1.4.2 靠接触器反接的可逆系统

很多生产机械要求其传动电动机能在两个方向旋转，并能产生两个方向的转矩。因此，要求电动机的电枢电压（或励磁电流）、电枢电流必须能在两个方向工作。但晶闸管只能单方向流过电流，因此，要满足上述要求，就要正反向各设一套整流器组成双变流器连接，或通过开关切换电动机与整流器的连接来实现。这时电动机就能在四个象限内工作，见图 14-29。

所谓一象限运行，就是指在①或③象限运行。这时，只能整流运行，而不能靠逆变进行制动。因此，一象限运行亦可采用半控桥式整流连接。一象限运行时，电动机的电流和转速都不能反向。

所谓两象限运行，就是在①和④象限，或②和③象限内运行。这对应采用可以逆变的单变流器连接。在图 14-30 中，当卷扬机提升重物时，电动机工作在电动状态，变流器整流运行；下放重物时，即使不向电动机提供能量，在重物作用下亦能自行下放。为了制动，电动机应工作在发电状态，变流器逆变运行，但变流器电流方向不变。两象限运行时，电动机的转速可逆，但电流不可逆。

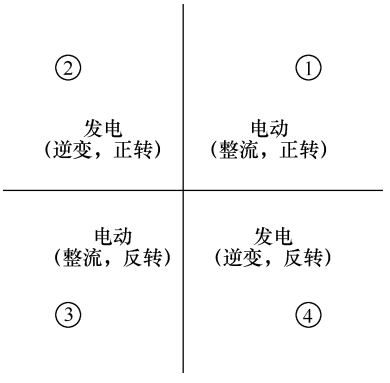


图 14-29 四象限工作图

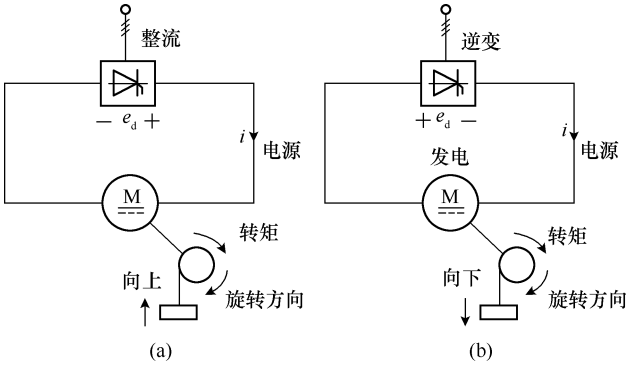


图 14-30 两象限运行工作图

所谓四象限运行,就是可以在所有四个象限内工作,电动机的转速与电流都可逆。

直流电动机可逆方式的比较见表 14-23。

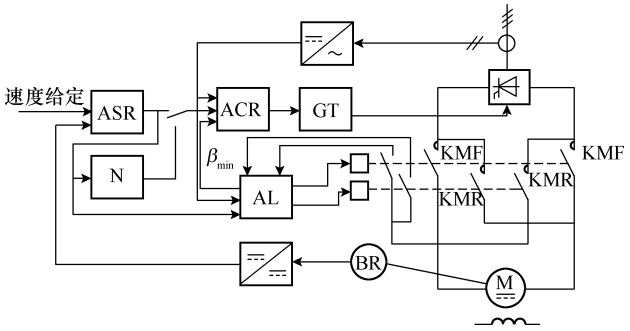
表 14-23 直流电动机可逆方式的比较

比较项目	电枢用一套变流装置开关切换	电枢用一套变流装置磁场反向	电枢用两套变流装置电枢反向
设备	(1)电枢变流装置一套 (2)电枢回路切换开关 (3)切换逻辑	(1)电枢变流装置一套 (2)励磁变流装置两套 (3)切换逻辑	(1)电枢变流装置两套 (2)无环流切换逻辑或环流电抗器
性能	有触点开关快速性差,正反转开关切换死时为 0.2～0.5s,减速时开关要切换两次 采用晶闸管开关可将切换死时减小到 0.1s	快速性差,正反转磁通反向时间为几百毫秒到 1s,减速时磁通要切换两次	快速性好,切换死时零到几十毫秒
可靠性	主电路不产生环流,有触点开关,维护工作量及寿命低	主电路不产生环流,无触点切换,要求有可靠的可逆励磁回路	要求触发器、逻辑切换可靠及抗干扰能力强
投资	系统简单,投资少	系统复杂,但投资较少	系统较简单,但投资大
适当场合	正反转调速不频繁,受开关容量限制,一般在几十千瓦以下,如起重机等	正反转调速不频繁,对调速精度要求不高,容量为几十到几千瓦,如卷扬机等	正反转调速频繁,容量从几到几千千瓦,如轧机主、辅传动,可逆运转机床等

1. 靠接触器反接电枢回路

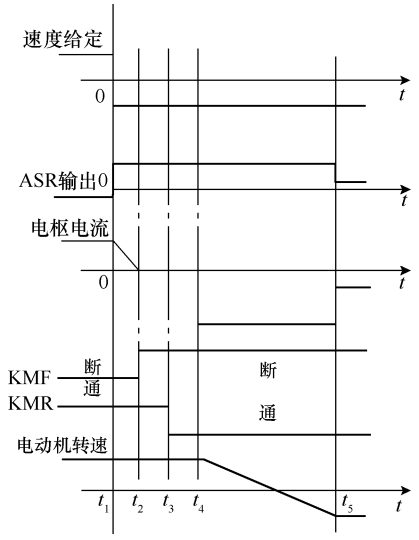
电枢用一套晶闸管整流器供电、由接触器切换的可逆系统见图 14-31。该系统采用了带电流内环的转速调节双环系统,并设了一个指令单元,它可根据调节回路所需要的电流反转矩方向(ASR 输出电压的正或负)来控制相应的方向接触器(KMF、KMR)。在切换期间,电枢电流应为零。为防止切换后电流冲击,指令单元在发出切换信号的同时,应向电流调节器 ACR 输入一个 β_{min} 信号,该信号通过 ACR 将触发脉冲推到最小 β 处,系统的切换过程见图 14-32。

在 t_1 时刻,速度给定信号改变,因而 ASR 输出极性改变,同时给电流调节器 ACR 输入一个 β_{min} 信号,使触发脉冲移至逆变区域。在 t_1～t_2 时间内,电流快速降低,到 t_2 时电流为零。在 t_2 时刻,接触器 KMF 断开。在 t_3 时刻,接触器 KMR 接通。在 t_4～t_5 时间内,先解除推 β 信号,使 ASR 和触发脉冲恢复正常工作(t_4 时刻),然后电动机开始制动,直到反向稳定运转



N—反号器；AL—逻辑装置；ASR—速度调节器；ACR—电流调节器

图 14-31 电枢用切换开关反向的可逆系统



t_1—给出反转信号；t_2—电枢电流到零，正向接触器断开；t_3—反向接触器闭合；

t_4—解除封锁，电动机开始制动和反向启动；t_5—电动机反向稳定运转

图 14-32 正向到反向的切换过程

(t_5时刻)。

这种系统使用触头切换，触头维护工作量大，寿命较短，切换零电流死区较大，为 0.2～0.5s，适用于小功率、不需要频繁切换的场合。

2. 靠接触器反接磁场回路

图 14-33 所示是一种磁场反向的可逆调速系统，电动机电枢回路由带有电流内环的单方向转速系统的晶闸管整流器供电，励磁回路用两套晶闸管整流器组成的可逆系统供电，或者采用一套晶闸管整流器，靠磁场回路的接触器实现励磁电流反接。

磁场可逆系统的特点是，电动机的反转或降速是用改变其励磁电流的方向，使电动机产生相应转矩来实现的。由于在励磁电流反向期间所产生的转矩很小，使系统的响应很慢。特别是在电动机降速(不反转)的场合，电动机的励磁电流先要从正向到反向切换一次，产生制动转矩使电动机降速，当转速降到所要求的转速时，电动机的励磁电流又要从反向到正向再切换一次。因此，对于不要求反转的调速系统，在降低转速动态过程中，磁场要切换两次，响应更慢。

因为励磁绕组时间常数很大，为了缩短转矩反向时间，需要对励磁绕组加一个很大的强

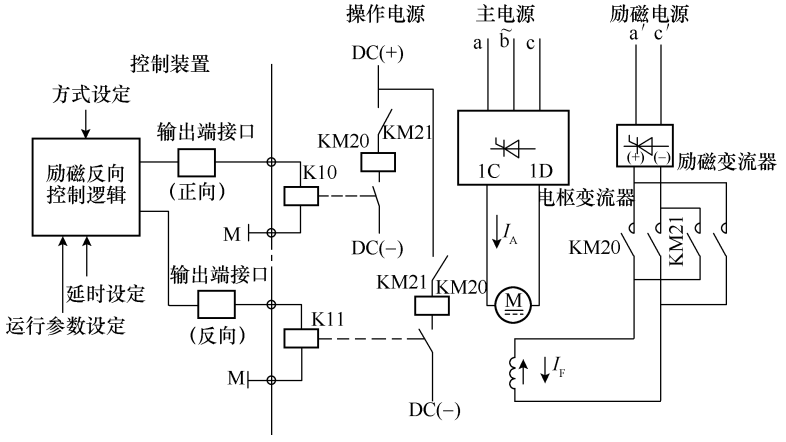


图 14-33 励磁电流可逆的控制系统

励电压,一般为 3～5 倍额定励磁电压。

磁场反向可逆系统的主要优点是,可省去一套电枢回路的变流装置,投资较少,但系统快速性差,磁场反向时间需要几百毫秒到 1s。因此,一般只用在正反转调速不频繁或调速精度要求不高的场合,容量范围从几十到几千千瓦。

控制系统可以实现直流电动机减速过程的制动控制,见图 14-33。图中电动机励磁回路中,晶闸管变流器采用单向不可逆装置,而电动机励磁电流方向靠换接励磁接触器 KM20 和 KM21 来实现。

电动机的正/反转控制,当减速制动以及电动机旋转方向转换时,都必须封锁电枢主电路,并通过一定的延时设置,依靠逻辑电路判断,选择接通励磁方向接触器(KM20 或 KM21),转换磁通方向为电枢主电路提供制动转矩,最终达到降速或旋转方向转换的目的,在图 14-33 中,励磁方向逻辑控制单元依据:

——运行方式设定:判定减速或反转制动方式,如自由制动或制动能量回馈。

——运行参数设定:励磁电流信息,如最小励磁电流 i_{fmin} 或超速信息 n_{max}。

——延迟时间设定:

- 励磁电流下降及励磁触发环节封锁延时(励磁接触器动作前);
- 新方向励磁接触器接通延时;
- 励磁触发环节使能延时;
- 电枢回路触发环节使能延时。

励磁控制切换和电枢主电路控制时序见图 14-34。

励磁反向过程的控制时序见图 14-34:

1)$t=t_1$ 时,电枢电流 $I_A=0$,电枢变流器触发脉冲禁止,主电路闭锁;

2)$t=t_2$ 时,励磁变流器触发脉冲禁止,励磁电流 I_F 下降并达到 $I_F<I_{Fmin}$ 的设置值(I_{Fmin} 是系统预置的励磁电流为最低的监控阈值);

3)$\Delta t_1=t_3-t_2$ 为励磁回路接触器 KM20 断开前,励磁电流下降的等待时间;

4)$\Delta t_2=t_4-t_3$ 为断开励磁回路接触器 KM20,至接通励磁回路接触器 KM21 的等待时间;

5)$\Delta t_3=t_5-t_4$ 为励磁变流器触发脉冲使能延时释放等待时间;

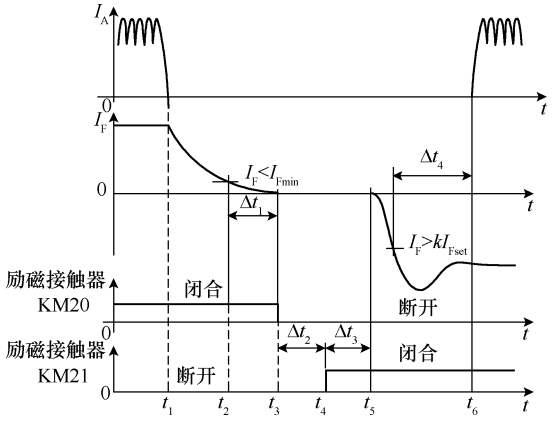


图 14-34　励磁反向过程的控制时序

6）Δt_4 为电枢回路触发环节使能延时等待时间，励磁电流反向上升，电流值 I_F 增加并达到 $I_F \geqslant kI_{Fset}$ 设定值（I_{Fset} 是电动机励磁电流的设定值，系统 k 设定值可在 0.8～0.9 范围内选取）；

7）$t=t_6$ 为电枢主电路变流器触发脉冲使能，主电路出现制动电流并上升到控制值。

使用励磁反向可以实现电枢一套变流器条件下的制动及能量回馈过程，其制动方式可以选择为降速时的励磁反向制动按时序接触器反接，待制动过程结束，再转换到原来的励磁电流方向，也可以选择为改变电动机的旋转方向使其反转。

6.1.4.3　电枢回路晶闸管可逆系统

通常两套晶闸管整流装置有反并联连接、交叉连接和直接反并联连接三种方式。

1. 反并联连接

见图 14-35，它是将两组整流器反向并联，交流侧接在同一个变压器二次绕组上，可以向电动机提供可逆的电枢电流。

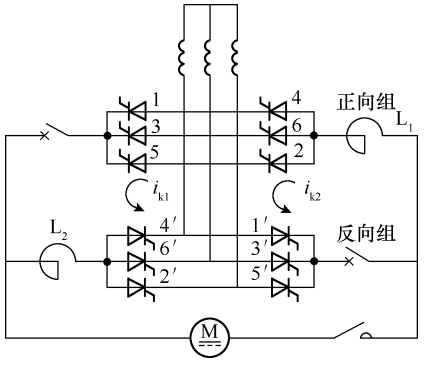


图 14-35　反并联可逆线路

按照是否有环流，可分为有环流和无环流两种方式。在有环流方式时，若一组整流器处于整流状态，另一组则处于逆变状态，但两组的输出电压平均值相等。当整流器输出电压比电动机反电动势高时，电动机处于电动状态；若电动机反电动势比整流器输出电压高，电动机就向处于逆变状态的整流器提供功率，电动机再生制动。尽管整流组和逆变组的电压平均值相等，但它们的瞬时值并不相等，因而在晶闸管 1、3、5 和 2′、4′、6′构成一个环流回路，在晶闸管 2、4、6 和 1′、3′、5′构成另一个环流回路。在无环流方式时，在任何情况下只允许一组

整流器工作,而另一组必须被封锁,或者把另一组的触发脉冲移到不可能出现环流的区域内,因而不出现环流。

这种线路的特点如下:

(1)由于正反两组整流器都用同一台变压器供电,所以变压器的利用率最高。

(2)由于有两个环流回路,至少需要两台电抗器,电抗器除了能限制环流外,还应在正常工作时满足电动机允许的最小电流连续程度和纹波的要求,并且在故障时能限制电流上升率,使直流快速断路器在快速熔断器熔断前先跳闸。

(3)反并联的两组整流器接在同一台变压器的二次绕组上,相互之间有影响。特别是在作为有环流线路运行时影响更大,可靠性较差。

这种方案一般都用在无环流可逆线路中。对于有环流可逆系统,一般不采用这种线路,而采用交叉连接方式。

2. 交叉连接

它是将两组整流器分别由一台变压器的两个二次绕组供电,见图 14-36。

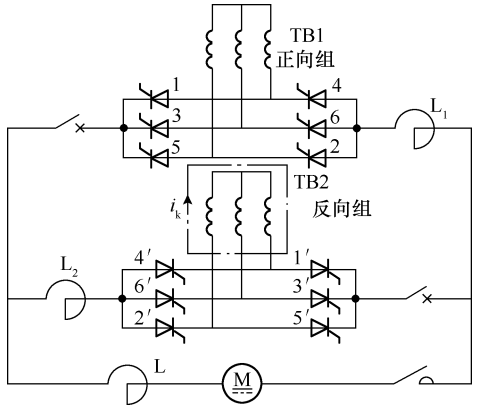


图 14-36 交叉联结可逆线路

交叉连接可逆线路的特点如下:

(1)由于有环流及变压器有两个二次绕组,故变压器的利用率较低,初期投资较大。

(2)由于只有一个环流回路,故可用一台空心电抗器或两台铁芯电抗器限制环流。这种线路的环流比反并联线路的小,因而电抗器的体积亦小。

(3)环流要通过四个晶闸管,而且只有一个环流回路,不像反并联线路那样两桥之间相互有影响,因此,可靠性较高。

3. 直接反并联

可以将正反向两个晶闸管压在一套散热器上,组成一个可逆单元组件。用 6 套这种组件可组成直接反并联线路,见图 14-37。

这种线路有如下特点:

(1)由于正反向器件不同时导电,因此散热器的体积增加不多,从而能缩小装置体积。

(2)正反向臂共用一个桥臂电抗器和快速熔断器,可节省装置成本。

(3)主电路只用一台直流电抗器和一台直流快速断路器,使主电路简化。

这种控制方式,由于主电路设备少,目前在调速系统中被广泛采用。

6.1.5 晶闸管变流器可逆系统的控制方案

6.1.5.1 有环流可逆控制

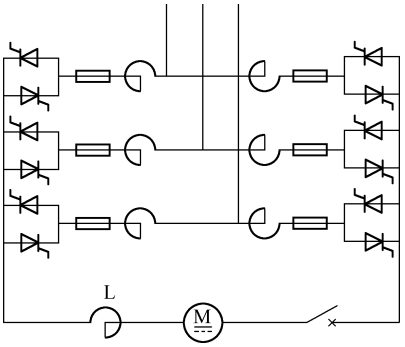


图 14-37 直接反并联可逆线路

6.1.5.2 逻辑无环流可逆控制

6.1.5.3 有准备逻辑无环流可逆控制

6.1.5.4 错位选触无环流可逆控制

6.1.5.5 采用双变流器组成 12 脉波整流的传动系统

14.4.2 交流电动机调速方法

14.4.2.1 交流电动机调速分类

《电气传动自动化技术手册》(第三版)

规范引用

7.1.2 交流调速系统分类

交流电动机的转速公式如下：

异步电动机

$$n = 60f(1-s)/p \tag{14-44}$$

同步电动机

$$n = 60f/p$$

式中 f——定子频率；

p——极对数；

s——转差率。

交流调速系统有多种分类方法：

·按调速方法分：变 f、变 p、变 s。

·按调速效率分：高效、低效。

·按调速平滑性分：有级、无级。

·按调速装置所在位置分：定子侧、转子侧、转子轴上。

·按使用的电动机分：异步电动机有笼型异步电动机、绕线转子异步电动机；同步电动机有励磁同步电动机、永磁同步电动机、无刷直流电动机、开关磁阻电动机。

常用调速系统：

有级调速：

·变极对数——变 p，高效，定子侧，异步电动机；

·转子串电阻——变 s，低效，转子侧，绕线转子异步电动机。

无级调速：

- 定子侧:定子调压——变 s,低效,异步电动机;
 定子变频——变 f,高效,异步电动机或同步电动机。
- 转子侧:串级调速(向下调)——变 s,高效,绕线转子异步电动机;
- 双馈调速(上下调)——调 s,高效,绕线转子异步电动机。
- 转子轴上:液力耦合器——调 s,低效,异步电动机或同步电动机;
- 电磁转差离合器——调 s,低效,异步电动机或同步电动机。

14.4.2.2 变极调速

《钢铁企业电力设计手册》(下册)

规范引用

25.2.2 变极调速

改变电动机定子绕组的接线来改变磁极对数而实现的调速只能是有级的,且级差较大,仅适用要求几种特定速度的生产机械,如小型氧气转炉、吹氧管卷扬机等,应用受到限制。变极与调压相结合的变极调压调速,变极与电磁转差离合器相结合的变极电磁调速异步电动机调速的出现,可以得到既简单又能在相当范围内平滑调速的调速系统,且转差功率损失少、效率高。

25.2.2.1 变更极对数的方法

变更极对数的方法有:

(1)在定子上设置单一绕组,改变其不同的接线组合,这种方法常用于 2∶1、3∶2、4∶3 的双速电动机;

(2)在定子上设置两套不同极数的独立绕组,这种方法用于 4∶3、6∶5 等双速电动机;

(3)在定子上设置两套不同极对数的独立绕组,而且每个独立绕组又有不同的接线组合,得到不同的极对数,这种方法用于三速或四速电动机。

图 14-38 示出单绕组双速电动机的接线方法。图 14-39 所示为双绕组三速电动机接线方法,图 14-40 所示为四速电动机接线方法。

应当注意,变极绕组有“反转向方案”和“同转向方案”两种方法,用前种方案时,相序相反,若电源相序不变,则电动机反转,若要保持电动机变极后转向不变,必须在变极时改变电源相序。用“同转向方案”变极时则电源不必反相。

14.4.2.3 晶闸管交流调压器

《电气传动自动化技术手册》(第三版)

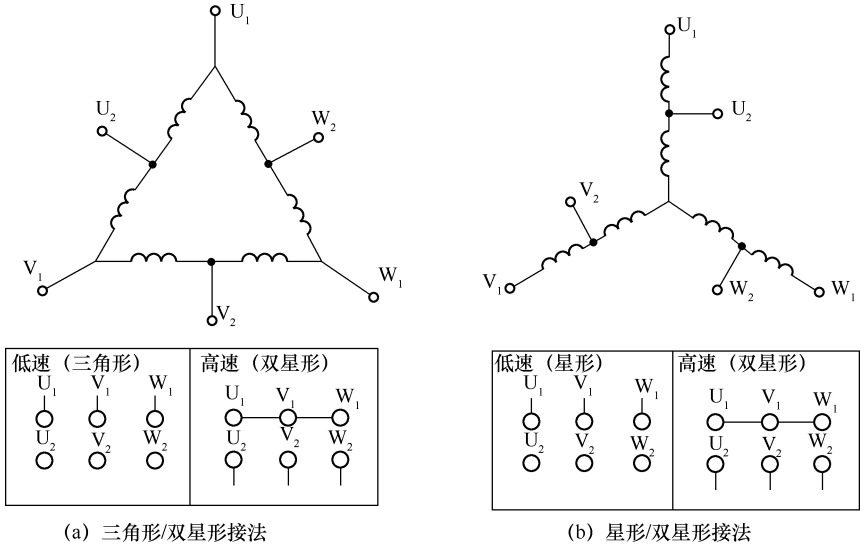
规范引用

晶闸管交流调压器接于交流电源和电动机之间,通过改变电动机输入电压来改变电动机的机械特性,实现调速。交流调压器的工作原理基于晶闸管移相控制,几种可能的三相交流调压电路及某一相负载上的输出电压波形见图 14-41。

图 14-41a 为带零线的三相调压电路,最大移相范围为 180°,三相对称。输出电流中存在奇次谐波,$\alpha=90°$时三次谐波电流最大,且流过中线,形成零序电流,不仅加大损耗,而且造成三相电网电压畸变,较少使用。

图 14-41b 为不带零线的三相调压电路,最大移相范围 150°,三相对称。虽有三次谐波电压,但无通路,无三次谐波电流,需用宽脉冲或双脉冲。

图 1-41c 为半控调压电路,每相只有一个晶闸管和一个整流二极管,设备简单,但正、负



(a) 三角形/双星形接法　　(b) 星形/双星形接法

图 14-38　双速电动机接线方法

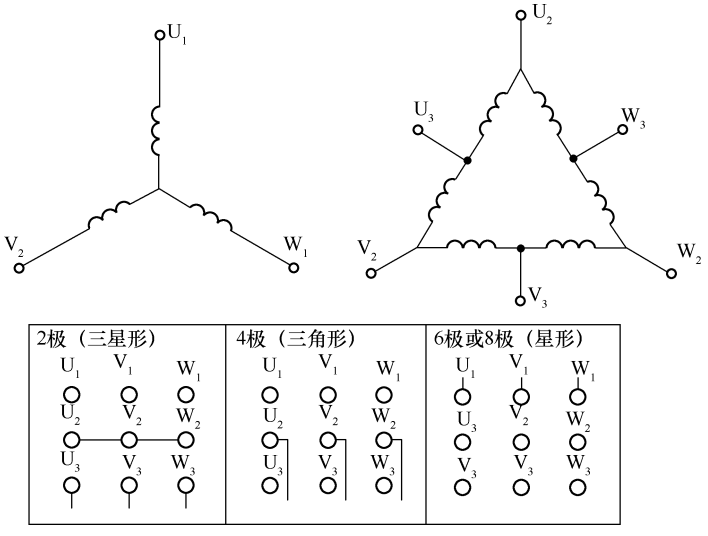


图 14-39　三速电动机接线方法

半周电压、电流不对称，造成谐波电流中有奇次，也有偶次，产生与基波转矩相反的负转矩，使电动机输出转矩减小，效率降低，仅在小功率电动机中使用。

图 14-41d 为晶闸管与负载接成内三角形的三相调压电路，其原理与图 14-41a 相似，但同样负载容量时，流过晶闸管的电流比图 14-41a 小，承受的电压高，存在三次谐波电流，且需电动机引出六个接线端，很少使用。

图 14-41e 使用器件最少，电路最简单，属于不对称控制，负载上有偶次谐波，电动机输出转矩降低，影响效率，仅用于小功率电动机中。电动机中点要打开，且只能接成星形。

比较而言，图 14-41b、e 使用较多。

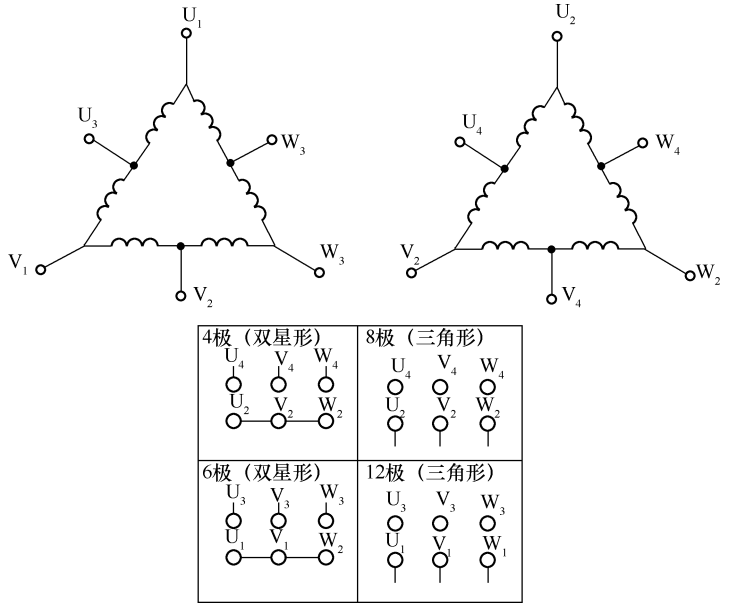


图 14-40 四速电动机接线方法

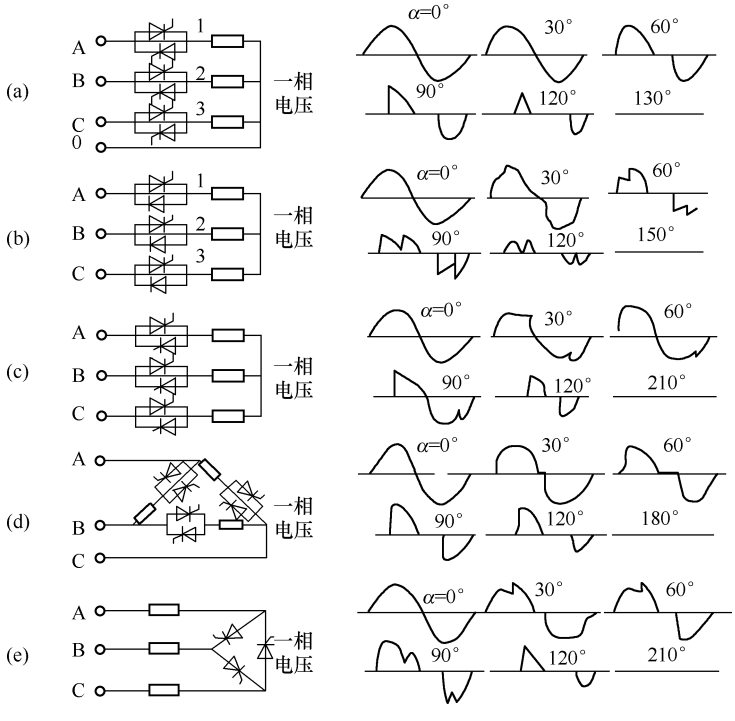


图 14-41 常用三相交流调压电路及某一相输出电压波形

7.2.3 脉宽调制(PWM)变流器基础

脉宽调制(Pulse Width Modulation,PWM)变流器是一类基于电力电子开关器件周期开通和关断,通过改变占空比 D(开通时间与开关周期之比)来改变输出电压的变流器。这类变流器使用的开关器件多为自关断器件,如功率 MOSFET、IGBT、IGCT、IEGT 等,以前曾用过晶闸管强制关断方法,由于线路复杂、开关慢、可靠性差,现很少用,已基本上被淘汰。

PWM 变流器有三类基本线路结构：降压型(Buck)、升压型(Boost)和升降压型(Buck-Boost)。

·降压型(Buck)变流器：其电路及其工作波形见图 14-42。

图中，S 和 $\overline{S}$ 是一组电子开关，S 导通时 $\overline{S}$ 关断，反之亦然；t_{on} 和 t_{off} 是开关 S 的导通和关断时间，周期 $T=t_{on}+t_{off}$；u_s 是开关 S 上的电压。

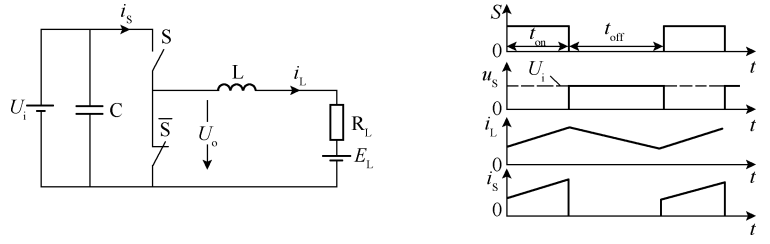


图 14-42 降压型电路及其工作波形

输出电压(一个开关周期的平均值)为

$$U_o = DU_i \tag{14-45}$$

式中 D——占空比，$D=t_{on}/T$。

由于 $D\leqslant 1$，所以 $U_o\leqslant U_i$。

·升压型(Boost)变流器：升压型变流器是降压型的逆向应用，如果降压型变流器中的电流反流(能量回馈)，它就变为升压工作。升压型变流器的电路及工作波形见图 14-43。

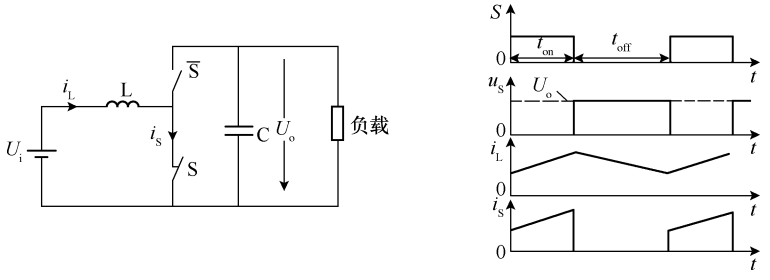


图 14-43 升压型电路及其工作波形

输出电压(一个开关周期的平均值)为

$$U_o = \frac{1}{1-D}U_i \tag{14-46}$$

图中和公式中各变量及符号定义与降压型相同。由于 $D\leqslant 1$，所以 $U_o\geqslant U_i$。

·升降压型(Buck-Boost)变流器：升降压型变流器在调速系统中很少用，它的电路及工作波形见图 14-44。

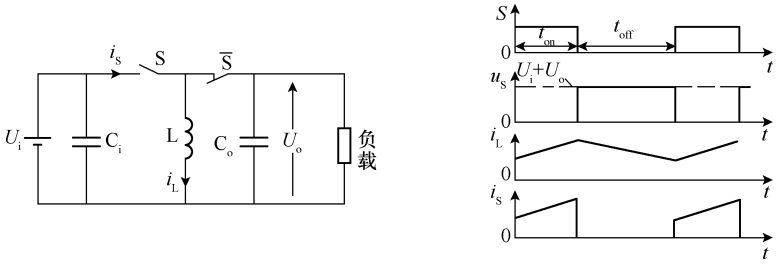


图 14-44 升降压型电路及其工作波形

输出电压(一个开关周期的平均值)为

$$U_o = \frac{D}{1-D}U_i \tag{14-47}$$

若 $0 \leqslant D < 0.5$,则 $U_o < U_i$;若 $0.5 < D \leqslant 1$,则 $U_o > U_i$;若 $D = 0.5$,则 $U_o = U_i$(输出电压极性与输入电压相反)。

注意:由于在电源、负载及连接导线中都存在电感,不允许电感电路中的开关在有电流时突然切断。为此,在变流器设计时必须为电感安排续流通道,并且调制开关(S 和 $\bar{S}$)只能一端接电感,另一端接电容。

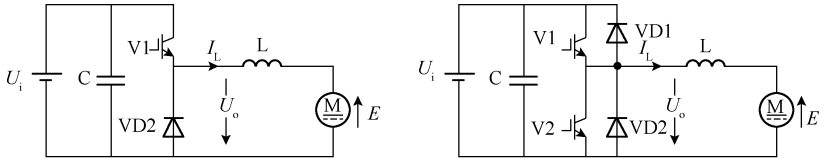
7.2.4 用于调速系统的 PWM 变流器

7.2.4.1 直流斩波器

若输入电源 U_i 和产生占空比 D 的控制信号都是直流,则变流器的输出 U_o 也是直流,这类变流器称为直流斩波器。

最基本的斩波器是降压斩波器,见图 14-45。若负载直流电动机只工作在电动状态,无回馈(电流 I_L 反流)工况,这时开关 S 为自关断器件 V1,而 $\bar{S}$ 为续流二极管 VD2(见图 14-45a)。当 V1 导通时,电感电流 I_L 增加,蓄能;当 V1 关断时,电感经二极管 VD2 续流,放能。若负载直流电动机存在制动状态,有回馈(电流 I_L 反流)工况,选时开关 S 和 $\bar{S}$ 都必须是自关断器件(V1 和 V2),且反并联续流二极管(VD1 和 VD2),制动时 V2 和 VD1 工作。在很多开关器件中,已把自关断器件和反并联续流二极管封装在一起。

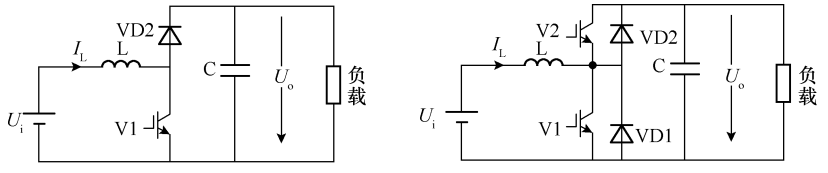
注意:若在 V1 和 V2 的开关过程中存在导通时间重叠,电源将被短路,造成开关器件过电流("直通"故障)。为避免该故障,在设计 V1 和 V2 的切换控制电路时需设置"死时",先"关"后"通",在"死时"期间,输出电流经 VD1 或 VD2 续流。



(a) 无回馈工况　　(b) 有回馈工况

图 14-45 直流降压斩波器

基于升压电路的斩波器称为升压斩波器,见图 14-46。它也有无回馈工况和有回馈工况两种电路:前者的开关 S 和 $\bar{S}$ 为自关断器件 V1 和二极管 VD2;后者的开关 S 和 $\bar{S}$ 为两组带有反并联续流二极管的自关断器件 V1(VD1)和 V2(VD2)。升压斩波器一般用于电压匹配,不直接带电动机。



(a) 无回馈工况　　(b) 有回馈工况

图 14-46 直流升压斩波器

7.2.4.2 电压型 PWM 逆变器

若降压变流器的电源是直流 $U_i = 2E_i$,而产生占空比 D 的控制信号是加入 1/2 偏置的交流

$$D = [1 + m\sin(\omega t - \theta)]/2 \tag{14-48}$$

式中 m——调制系数，$1 \geqslant m \geqslant 0$；

ω——角频率，$\omega = 2\pi f$；

θ——相角。

则变换器输出电压（一个开关周期的平均值）$u_o = mE_i \min(\omega t + \theta)$，它是幅值为 mE、角频率为 ω、相角为 θ 的交流电压，这时变流器成为单相电压型逆变器，见图 14-47。由于交流输出电流周期性地变换方向，该逆变器的两组开关 S 和 $\bar{S}$ 应是两组带有反并联续流二极管的自关断器件 V1（VD1）和 V2（VD2），电流正半波时流经 V1 和 VD2，电流负半波时流经 V2 和 VD1。为防止“直通”，在设计 V1 和 V2 的切换控制电路时需设置“死时”，在“死时”期间，输出电流经 VD1 或 VD2 续流。

7.2.4.3 电压型 PWM 整流器

电压型 PWM 整流是电压型逆变器的逆应用，基于升压变换电路，输入是正弦交流电压 u_i，产生占空比 D 的控制信号也是正弦交流，即

$$u_i = U_i \sin\omega t$$
$$D = [1 + m\sin(\omega t - \theta)]/2 \tag{14-49}$$

则输出电压（在一个开关周期的平均值）是直流电压 U_o（$>U_i$），见图 7-9。

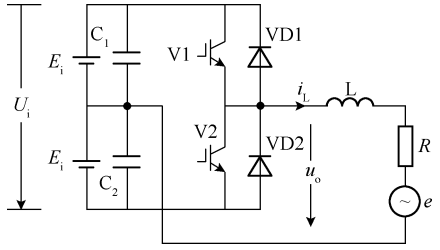


图 14-47 单相电压型 PWM 逆变器

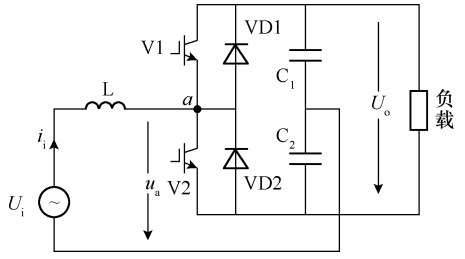


图 14-48 单相电压型 PWM 整流

该整流器的两组开关也应是两组带有反并联续流二极管的自关断器件 V1（VD1）和 V2（VD2），并在设计 V1 和 V2 的切换控制电路时需设置“死时”。

PWM 整流的特点：

• 输出端接大滤波电容，输出电压 U_o 是平直的直流，两组开关连接点 a 的电压是正弦电压 u_a。

• 输入电流 i_i 是流经电感 L 的电流，开关频率的脉动小；由于 u_i 和 u_a 都是正弦波，所以 i_i 在一个开关周期的平均值也是正弦波。

• 由于 $I_i = -j(U_i - U_a)/\omega L$（式中 U_i、U_a 和 I_i 是正弦电压、电流 u_i、u_a 和 i_i 对应的矢量），所以输入电流 i_i 的相位（与输入电压 u_i 间所夹的功率因数角 φ）和幅值可以通过改变占空比控制信号中的 m 和 θ 角来控制（见图 14-49），从而实现输入电流的有功分量和无功分量

的分别控制。

·允许功率双向流动:当有功电流分量>0 时,功率从交流电源流向直流负载;当有功电流分量<0 时,功率从负载流向电源。

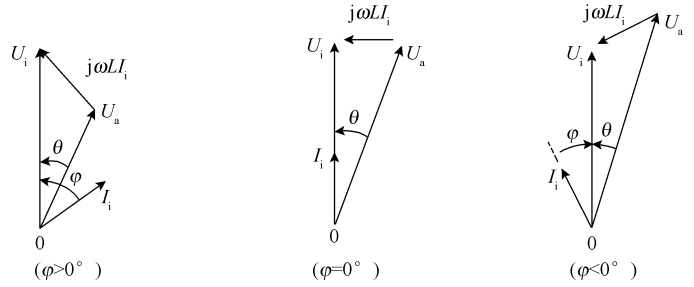


图 14-49 PWM 整流输入电流、电压矢量图

由于 PWM 整流具有上述优良性能,常用作高性能交-直-交变频器前端的交-直变流器,称为有源前端(AFE)变流器。

7.2.4.4 三相电压型 PWM 逆变器和 PWM 整流器

把三个单相电压型 PWM 逆变器组合起来,去掉中性线,就构成一台三相 PWM 逆变器,见图 14-50。

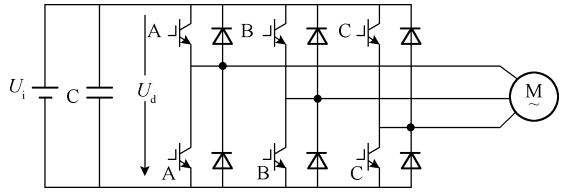


图 14-50 三相电压型 PWM 逆变器

把三个单相电压型 PWM 整流器组合起来,去掉中性线,就构成一台三相 PWM 整流器,由于它是三相逆变器的逆应用,所以它的电路和图 14-50 一样,只是输入、输出互换,输入为串有进线电感的三相交流电源,输出为并有电容的直流负载。

把三相电压型 PWM 逆变器和 PWM 整流器的直流侧连接起来,就构成一台电压型双 PWM 交-直-交变频器,见图 14-51。图中左侧为整流器,右侧为逆变器。

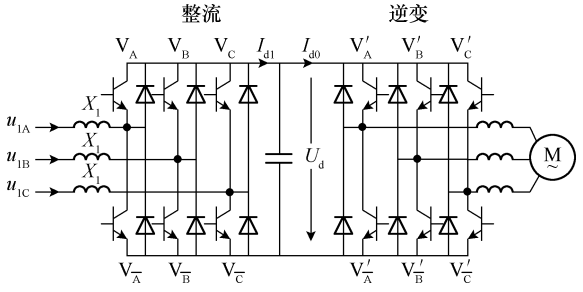


图 14-51 电压型双 PWM 交-直-交变频器

7.2.4.5 矩阵变频器

单相输出零式矩阵变频器见图 14-52,其输入电源是三相交流电压 u_{iA}、u_{iB}、u_{iC},经三个 PWM 调制开关 S_A、S_B、S_C,把负载周期性地、分时(无重叠接通情况)接至三相电源。

若三相电源为

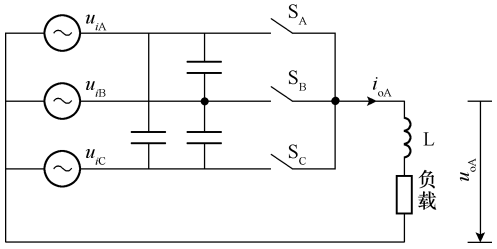


图 14-52 单相输出零式矩阵变频器

$$\begin{aligned} u_{iA} &= U_{im}\cos(\omega_i t) \\ u_{iB} &= U_{im}\cos(\omega_i t-\alpha) \\ u_{iC} &= U_{im}\cos(\omega_i t+\alpha) \end{aligned} \tag{14-50}$$

三个调制开关的占空比为

$$\begin{aligned} D_A &= [1+m\cos(\omega_m t)]/3 \\ D_B &= [1+m\cos(\omega_m t-\alpha)]/3 \\ D_C &= [1+m\cos(\omega_m t+\alpha)]/3 \end{aligned} \tag{14-51}$$

可以证明,输出电压在一个开关周期的平均值也是正弦电压

$$u_{oA} = U_{om}\cos(\omega_o t) \tag{14-52}$$

式中 U_{om}——输出电压幅值,可"通过 m 调整,$U_{om} = mU_{im}/2$,最大 $U_{om} = U_{im}/2$($m=1$ 时);

ω_o——输出电压角频率,可以通过 ω_m 调整,$\omega_o = \omega_i - \omega_m$;

$\alpha = 2\pi/3$。

把三个单相输出零式矩阵变频器组合起来,去掉中性线,就构成一台三相输出矩阵变频器,见图 14-53。9 个开关的调制规则基于式(14-51),只是 B 相和 C 相输出的两组开关的调制规则分别要移相−120°和+120°。

三相输出电压(一个开关周期的平均值)为

$$\begin{aligned} u_{oA} &= U_{om}\cos(\omega_o t) \\ u_{oB} &= U_{om}\cos(\omega_o t-\alpha) \\ u_{oC} &= U_{om}\cos(\omega_o t+\alpha) \end{aligned} \tag{14-53}$$

若三相负载是线性负载,则输出电流为三相正弦电流,可以证明,这时三相输入电流也是正弦,且与电动机同相(输入功率因数=1),与负载功率因数无关,即

$$\begin{aligned} i_{iA} &= I_{im}\cos(\omega_i t) \\ i_{iB} &= I_{im}\cos(\omega_i t-\alpha) \\ i_{iB} &= I_{im}\cos(\omega_i t+\alpha) \end{aligned} \tag{14-54}$$

和其他变换器一样,为防止在调制开关断开时,在电感中感应高电压,矩阵变频器的调制开关也必须一端接电感,另一端接电容,通常输入端接电容,输出端接电感(见图 14-53)。当能量从输入流向输出(电动状态)时,变频器工作基于降压变流电路;当能量从负载返回(回馈工况)时,变频器工作基于升压变流电路。

矩阵变频器中的调制开关,既要在导通时允许电流双向流动,又要在关断时能承受双方向电压。为此,每个开关都需用两个带有反并联二极管的 IGBT 背靠背串联,见图 14-54。

调制开关的换相控制是矩阵变频器的难题之一。在两个开关换相过程中,既不能有重

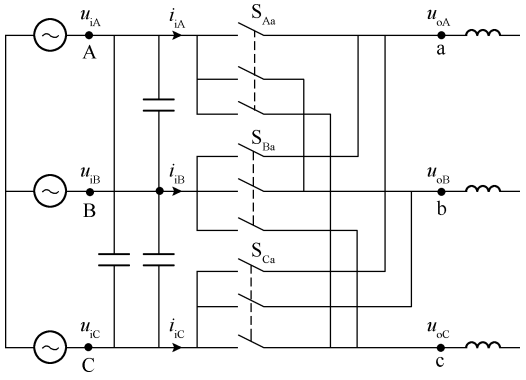


图 14-53 三相输出矩阵变频器

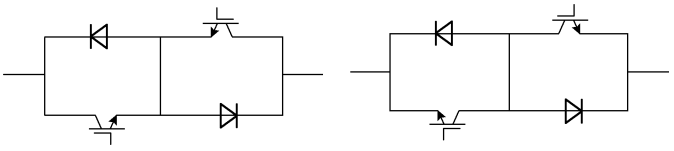


图 14-54 矩阵变频器的开关单元

叠时间(重叠造成电源短路),又不能有导通间隙时间(间隙造成负载电感断路,感生高电压),既无重叠又无间隙的控制要求很难实现。现在已经有几个解决办法:四步电流换相、两步电流换相等。从开关 V_{Aa} 到 V_{Ba} 的两步电流换相过程见图 14-55,先检测负载电流方向,只要电流方向为正(见图 14-55),开关 V_{Aa2} 和 V_{Ba2} 均处于一直关断状态,电流经反并联二极管流过,在接到 V_{Aa} 切断、V_{Ba} 导通的换相指令后,V_{Ba1} 先导通,在导通重叠期间靠 V_{Aa2} 和 V_{Ba2} 的反并联二极管避免电源短路,经时间 t_d 后 V_{Aa1} 断开,换相过程结束。

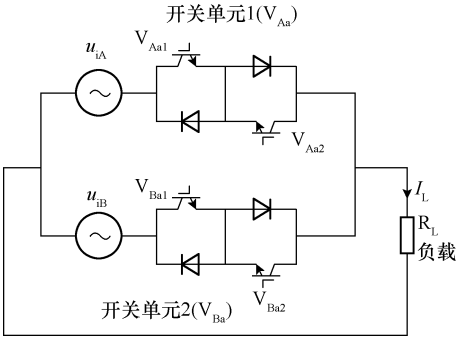


图 14-55 两步电流换相过程

上述矩阵变频器有理想的性能:输出正弦电压、输入与电源电压同相的正弦电流(功率因数=1)、允许双向功率流,但它的最大输出电压太低($\mu = U_{om.max}/U_{im} = 0.5$),而开关器件承受的电压却达$\sqrt{3}U_{im}$。这个问题可以通过在目标输出电压波形中加入适当的三次谐波共模电压 $\cos(3\omega_o t)$和 $\cos(3\omega_i t)$来克服,使最大输出电压提高至 $\mu=0.87$,开关器件承受的电压不变。实现的方法有多种,如空间矢量法、间接调制法等。加入共模电压后,负载上电压波形仍为正弦,不受共模电压影响,但负载中性点和电源中性点电位不再相等,存在共模电压的电位差。

矩阵变频器是一种有前途的变频器,目前仍处于研发阶段,尚未实用,正受到双 PWM 交-直-交变频器(它具有和矩阵变频器同样的优良性能,且输出电压高($\mu\approx1$),开关器件数少)的挑战。

7.2.4.6 三相电流型 PWM 整流器和 PWM 逆变器

在单相输出矩阵变频器(见图 14-52)中,若控制信号的角频率和输入电源电压的角频率一样 $\omega_=\omega_i$,则输出电压将变为直流($\omega_o=0$),这时矩阵变频器变为电流型 PWM 整流器。为提高输出电压,可把原来的零式电路改为桥式电路,并修改调制规则为

$$\begin{aligned} D_A &= M(\omega_i t) \quad D_{\bar{A}} = M(\omega_i t+\pi) \\ D_B &= M(\omega_i t-\alpha) \quad D_{\bar{B}} = M(\omega_i t+\pi-\alpha) \\ D_C &= M(\omega_i t+\alpha) \quad D_{\bar{C}} = M(\omega_i t+\pi+\alpha) \end{aligned} \tag{14-55}$$

式中 $M(\theta)=m\cos\theta$(若 $m\cos\theta\geqslant 0$);

$M(\theta)=0$(若 $m\cos\theta<0$);

m——调制系数,$1\geqslant m\geqslant -1$

$\alpha=2\pi/3$。

可以证明输出电压为直流(一个开关周期的平均值),即

$$U_o = 1.5mU_{im} \tag{14-56}$$

是零式电路的 3 倍。输入电流是三相正弦电流,同式(14-54),与输入电压同相,功率因数为 1。

若 $m>0$,输出电压为正,电动工况,能量从电源流向负载,降压变流;若 $m<0$,输出电压为负,回馈工况,能量从负载流向电源,升压变流。电动和回馈两种工况,输出电压极性相反,电流方向不变,调制开关仅承受双向电压,无双向电流要求,因此调制开关简化成单向开关。在此条件下,只要设置适当的重叠时间就能安全换相,简化了换相控制。

电流型 PWM 逆变器是电流型 PWM 整流器的逆应用,两者电路相同,只是输入、输出端互换。逆变器的输入是串有电感的直流电源,输出为并有电容的三相负载,基于升压变流电路,调制规则同式(14-55),通常设定 $m=1$,这时三相输出电流为

$$\begin{aligned} i_{oA} &= I_d\cos(\omega_i t) \\ i_{oB} &= I_d\cos(\omega_i t-\alpha) \\ i_{oC} &= I_d\cos(\omega_i t+\alpha) \end{aligned} \tag{14-57}$$

式中 I_d——直流输入电流。

把电流型 PWM 逆变器和 PWM 整流器的直流侧连起来,就构成一台电流型双 PWM 交-直-交变频器,见图 14-56。图中左侧为整流器,右侧为逆变器。

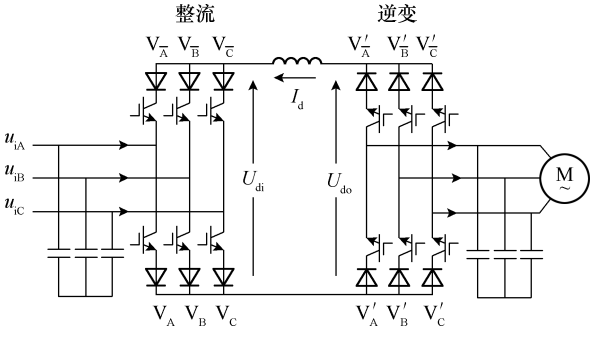


图 14-56 电流型双 PWM 交-直-交变频器

14.4.2.4 定子侧交流调速系统

7.3.1.1 调压调速特性

异步电动机的电磁转矩为

$$T=\frac{m_s}{\omega_0}\cdot\frac{U_s^2\dfrac{r_r}{s}}{\left(r_s+\dfrac{r_r}{s}\right)^2+(x_s+x_r)^2} \tag{14-58}$$

式中 U_s——定子电压幅值；

r_s、x_s——定子电阻和漏抗；

r_r、x_r——折算到定子侧的转子电阻和漏抗；

ω_0、s——同步机械角速度和转差率。

对应不同的定子电压，可以得到一组机械特性，见图 14-57。对于某一固定负载转矩 T_L，电动机将稳定工作于 a、b 和 c 等转速，从而实现调压调速。

普通笼型异步电动机机械特性工作段的 s 很小，对恒转矩负载而言，调速范围很小，见图 14-57。但对于风机和泵类机械，由于负载转矩 $T_L=kn^2$，即与转速二次方成比例，采用调压调速可以得到较宽的调速范围，见图 14-58，在 a、b 和 c 三点都能稳定工作。

要扩大恒转矩负载的调速范围，常用高阻转子电动机或转子外接电阻(或频敏变阻器)的绕线转子异步电动机。高阻转子电动机(如力矩电动机)的调压调速特性见图 14-59。低速工作时，特性很软，工作不易稳定，负载和电压稍有波动，会引起转速很大变化。为提高调速硬度，减小转速波动，宜采用转速闭环控制系统，其原理图见图 14-60a，闭环控制特性见图 14-60b。假设系统原来工作于 a 点：开环工作时，若负载由 T_{L1} 变到 T_{L2}，由于 U_s 不变，工作点将由 a 点沿同一机械特性曲线移到 b 点，转速变化很大；闭环工作时，负载由 T_{L1} 变到 T_{L2}，在速度调节器 ASR 的作用下，转速下降使 U_s 增大，工作点将由 a 移至 c，转速变化减小，调速范围可达 1∶10。

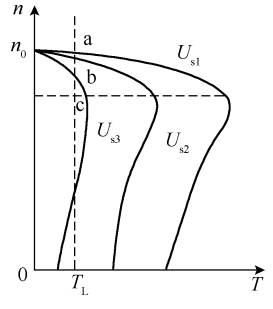


图 14-57 不同 U_s 的机械特性

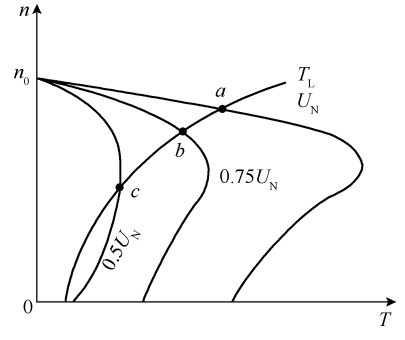


图 14-58 风机、泵类负载调压调速特性

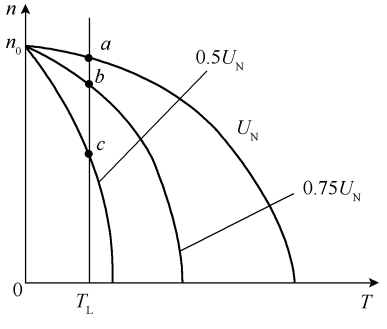
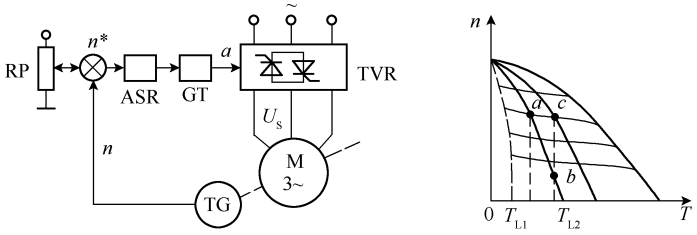


图 14-59 高阻转子电动机调压调速特性



(a) 原理图　　(b) 闭环控制特性

TVR—晶闸管调压器；ASR—速度调节器；GT—触发器
RP—给定电位器；TG—测速发电机

图 14-60　有转速闭环的调压调速特性

7.3.1.2　功率损耗分析

1. 转差功率损耗系数

异步电动机调压调速系统是一种低效调速系统，随转速降低，转差率加大，大量转差功率消耗在电动机转子电阻或外加电阻（或频敏变阻器）上，究竟消耗了多少转差功率是决定这类调速工作性能的重要因素。分析表明，转差功率损耗与调速范围及负载性质有密切关系。

在采用相对值计算及忽略定子电阻，定、转子漏抗条件下：

转差功率

$$\Delta p \approx e_r i_r \tag{14-59}$$

转子电流

$$i_r \approx T_L = n^{\alpha} \tag{14-60}$$

式中　e_r、i_r、T_L 和 n ——转子电动势、转子电流、负载转矩和转速相对值；

α——代表负载性质的指数，$\alpha=0$ 表示恒转矩负载，$\alpha=1$ 表示负载转矩与转速成比例，$\alpha=2$ 表示负载转矩与转速二次方成比例（风机、泵类负载）。

转子电动势相对值 e_r 的基值是转差率 $s=1$（转子不转）时的转子电动势 E_{ro}，所以 $e_r=s$；转速相对值 n 的基值是理想空载转速，所以 $n=(1-s)$。把上述关系代入式(14-59)和式(14-60)，则转差功率为

$$\Delta p = s(1-s)^{\alpha} \tag{14-61}$$

转差功率相对值 Δp 的基值是 $P_{r.max}=E_{ro}I_{rN}\approx P_N$（电动机额定功率），所以它又称为转差功率损耗系数，式中 I_{rN} 为转子额定电流。

不同负载特性（不同 α 值）时的 Δp 曲线见图 14-61。由曲线可看出，在 $\alpha=2$ 时，电动机的转差功率损耗系数最小，所以调压调速较适合用于风机、泵类负载，对于恒转矩负载则不宜长期低速工作。

2. 谐波对电动机运行的影响

晶闸管调压装置的输出电压、电流都是非正弦波，含有大量谐波，影响电动机出力，主要原因是：

(1)谐波使电动机损耗加大；

(2)只有基波电流产生工作转矩，谐波电流会带来阻转矩或转矩脉动。

在使用晶闸管调压调速时，考虑谐波影响，电动机需适当增加容量，在 $s=0.33$ 时，增加的百分比如下：

调压器电路	增加值
三相 Y 连接(图 14-41b)	8%
三相 YN 连接(图 14-41a)	14%
三相不对称 Y 连接(图 14-41c)	38.2%
零点△连接(图 14-41e)	43.4%

7.3.1.3 调压调速的优缺点及适用范围

调压调速的主要优点是简单,便宜,使用维修方便;主要缺点是转差功率损耗高,效率低,谐波大。在一些容量不大、调速范围不宽、精度要求不高(一般为3%)、连续工作时间不长的设备中也可以采用调压调速,如起重机械、风机和泵类机械等。随变频调速等高效调速技术的发展,调压调速真正用来调速,而不是软启动的场合越来越少。

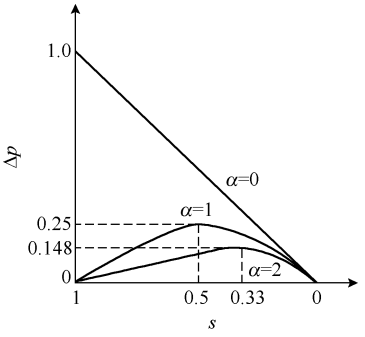


图 14-61 不同负载性质的 Δp 曲线

7.3.2 大功率交－交变频调速系统(CC)

基于晶闸管移相控制的交－交变频调速系统是一种适用于大功率(3000kW 以上)、低速(600r/min 以下)场合的调速系统,在大型轧机主传动、矿井提升、矿石破碎、船舶推进等设备中得到广泛应用。

7.3.2.1 交－交变频器基础

1. 单相输出交－交变频器原理

单相输出交－交变频器见图 14-62。它实质上是一套三相桥式无环流反并联的可逆整流装置,只是其触发移相控制信号 u_{ST} 是幅值和频率可变的交流信号,相应的整流输出电压也是幅值和频率可变的交流电压,以实现变频。装置中晶闸管的关断通过电源交流电压的自然换相来实现。这种变频器无中间直流环节,故称为交－交直接变频器。

输出端接感性负载的交－交变频器的输出电压和电流波形见图 14-63。一个周期的波形可以分为 6 段:

(1)$u_o>0$,$i_o<0$,变流器工作于第二象限,反向组逆变。

(2)电流过零,无环流“死时”。

(3)$u_o>0$,$i_o>0$,变流器工作于第一象限,正向组整流。

(4)$u_o<0$,$i_o>0$,变流器工作于第四象限,正向组逆变。

(5)电流过零,无环流“死时”。

(6)$u_o<0$,$i_o<0$,变流器工作于第三象限,反向组整流。

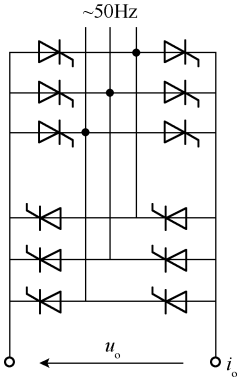


图 14-62 单相输出交－交变频器

如果输出电压、电流之间的相位差 $\varphi<90°$,能量从电网流向负载;如果 $\varphi>90°$,能量从负载流向电网,负载电动机可以四象限工作。在每一个输出周期中,有两次电流过零,存在两个无环流死区时间(简称为“死时”),“死时”的长短对输出波形影响很大,若最高输出频率为20Hz,一个周期长 50ms,要求每个死时小于 2ms。

2. 三相输出交－交变频器原理

三相输出交－交变频器由输出电压彼此相差 120°的三套单相输出交—交变频器组成。

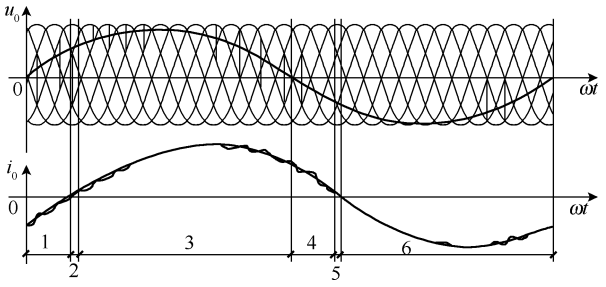


图 14-63 交－交变频器输出电压、电流波形

主电路有两种接线方式：公共交流母线方式和输出 Y 连接方式，见图 14-64 和图 14-64。

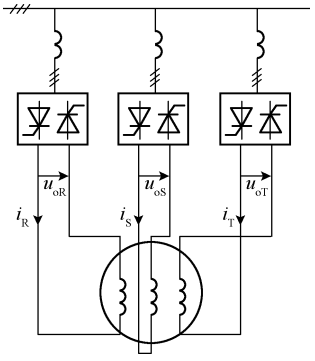


图 14-64 公共变频母线的三相交－交变频

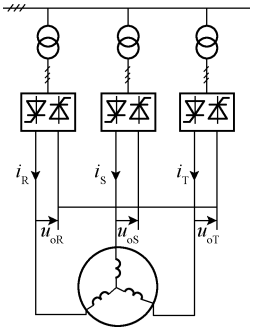


图 14-65 输出 Y 连接的三相交－交变频

输出 Y 连接的三相交－交变频器有两个特点：

(1)触发脉冲需大于 30°。由于变频器输出中性点不与负载中性点相连接，所以至少要有两个桥、四个晶闸管同时有触发脉冲才能建立电流，为此要求触发脉冲为双脉冲，且宽度大于 30°。

(2)可利用直流偏置和(或)交流偏置技术提高装置出力及改善电网侧功率因数。

输出 Y 连接三相交－交变频器的等效电路见图 14-66。由于变频器中性点不与负载中性点相连接，如果变频器输出的三个相电压 u_{oR}、u_{oS}、u_{oT} 中含有同样的直流分量或三次谐波分量，均不会在线电压中反映出来，而输出到负载上。

负载电动机低速运行时，变频器输出电压很低，三套整流装置都工作于深控区域，电网侧功率因数差。如果三个相电压中都含有同样的直流分量，触发延迟角 α 减小，既改善功率因数，又不影响电动机运行。这种技术称为“直流偏置”，由于实现起来较麻烦，很少使用。

负载电动机高速运行时，变频器输出电压高，如果使变频器输出相电压中含有适当的三次谐波，使之变成图 14-67 所示的准梯形波，能获得如下好处：

·准梯形波的幅值比基波幅值低 15%，而电动机端仅接收基波，所以负载相电压幅值提高 15%(出力提高)。

·一个输出周期中，整流装置较长时间工作在高输出电压区域，变频器电网侧平均功率因数也提高 15%。

这种技术称为“交流偏置”，实现容易，效果好，被广泛应用。

公共交流母线方式的三套单相输出交－交变频器通过进线电抗器接至 50Hz 公共交流母线，三组输出必须相互隔离，电动机的三个绕组需分开，引出六根线。这种方式的特点是：

(1)只需一台电源变压器，简单、经济。

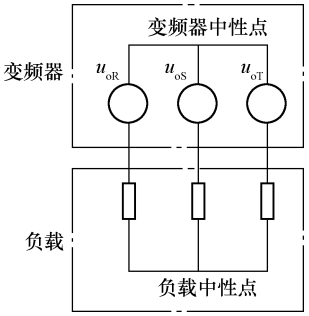


图 14-66 输出 Y 连接三相交－交变频器等效电路

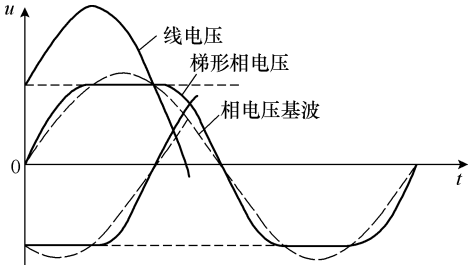


图 14-67 准梯形波相电压及线电压波形

(2)三套单相变频器完全独立,相互影响小,触发脉冲为双窄脉冲。

(3)许多交－交变频调速电动机的电压为 1600～1700V,属中压范畴,变频器及引线都需满足中压规范要求。采用公共交流母线方式后,变频器及引线对地电压为相电压,小于1000V,属低压范畴,执行低压规范。

(4)使用准梯形波后,三次谐波电压将加至电动机绕组,但若电动机是隐极电动机,这种三次谐波也不会对电动机运行带来影响。

3. 交－交变频器输出频率上限

交－交变频器输出电压、电流波形(见图 14-63)中,除基波外,还含有许多谐波,产生这些谐波的原因有两个:

(1)交－交变频器的输出波形是可控整流波形,含有较大谐波,输出频率越高,每周期中波动数越少,谐波比例越大。

(2)无环流"死时",使电流过零不平滑,带来低次谐波,输出频率越高,每周期中"死时"占的比例越大,谐波比例越大。

通常用两个指标评价谐波大小:输出电流畸变率 DF 和电动机转矩相对脉动率 ΔT。仿真结果表明,若限制 $DF\leqslant 20\%$,$\Delta T\leqslant 30\%$,则在使用 6 脉波可控整流、死时为 2ms 时,最大输出频率 $f_{o.max}=16.7$Hz,输出频率 f_o 超过上述 $f_{o.max}$ 值后,DF 和 ΔT 快速增加。

ϕ76.2mm(ϕ3in)晶闸管、风冷、6 脉波可控整流柜用于交－交变频时,每柜输出最大峰值电流 I_{BN},与频率 f_o 的关系见图 14-68。$f_o>16\sim 20$Hz 后,随 f_o 增加,谐波电流加大,I_{BN} 急骤下降,装置出力减小,因此交－交变频器最大输出频率被限制为

$$f_{o.max}\leqslant 16\sim 20\text{Hz} \tag{14-62}$$

同样的晶闸管整流装置,用于交－交变频时,每桥最大峰值电流 $I_{BN}|_{f_o\neq 0}$ 比用于直流时的最大直流电流 $I_{BN}|_{f_o\neq 0}$ 要大,因为用于变频时,每个晶闸管仅在半个周期中工作,另半个周期不工作,即使在工作半周内流过管子的电流也时大时小。令它们之比为交－交变频器电流输出增大系数,即

$$K_c = \frac{I_{BN}\mid_{f_o \neq 0}}{I_{BN}\mid_{f_o = 0}} \tag{14-63}$$

该系数与晶闸管和散热器的规格和形式、柜子和风道结构等因素有关，每种特定的整流柜有一条自己的曲线，该曲线是交－交变频器电流计算的基础。按图 14-68，$K_c \approx 1.3$。

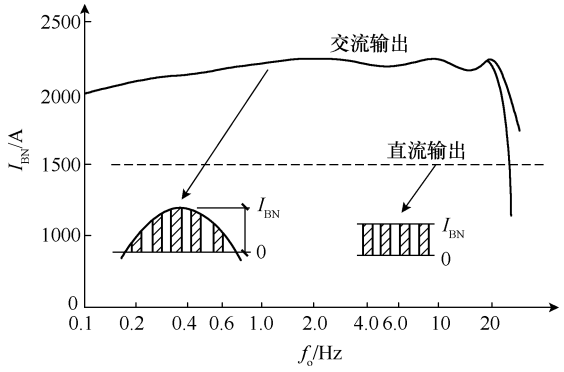


图 14-68 每桥最大峰值电流 I_{BN} 与频率 f_o 的关系

14.5 交、直流电动机的电气制动方式及计算方法

14.5.1 能耗制动

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

5.1.2.2 能耗制动

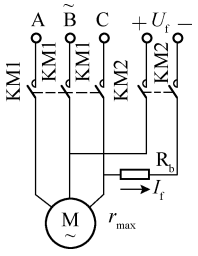
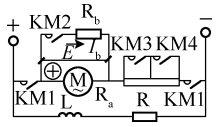
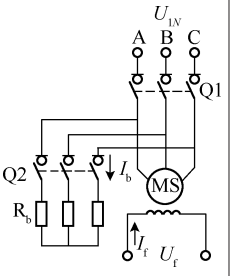
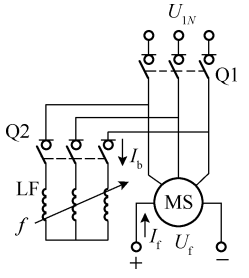
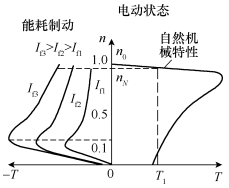
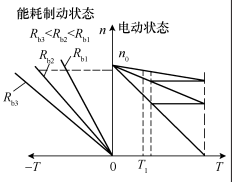
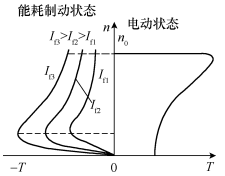
能耗制动是将运转中的电动机与电源断开并改接为发电机，使电能在其绕组中消耗(必要时还可消耗在外接电阻中)的一种电制动方式。

交流笼型和绕线转子异步电动机采用能耗制动时，应在交流供电电源断开后，立即向定子绕组(可取任意两相绕组)通入直流励磁电流 I_f，以便产生制动转矩。制动转矩的大小取决于直流励磁电流 I_f 的大小及电动机的转速。当 $n \approx n_0$ 时，制动转矩最大；随着转速 n 的降低，制动转矩急剧减小。当 $n=(0.1\sim0.2)n_0$ 时，制动转矩达到最小值。为获得较好的制动特性，励磁电流 I_f 通常取电动机定子空载电流 I_0 的 1～3 倍。绕线转子异步电动机能耗制动时，应在转子回路中串接 $(0.3\sim0.4)R_{2N}$ 的常接电阻，可使平均制动转矩等于额定转矩(此时平均制动转矩值为最大)。制动时，励磁所用直流电源 U_b 可为 48V、10V 或 220V，为减小在附加制动电阻 R_b 上的能量损耗，在供电条件允许的情况下，U_b 越小越好。在多电动机集中控制而又都采用能耗制动的情况下(如大型轧钢车间)，可设置专用的直流 48V 能耗制动电源，这样更为经济。

同步电动机采用能耗制动时，可将其定子从电源上断开后，接到外接电阻或频敏变阻器上，并在转子中继续通入适当的励磁电流，电动机即转入能耗制动状态工作。此时电动机作为一台变速的发电机运转，将机械惯性能量消耗在外接电阻或频敏变阻器上。采用频敏变阻器制动，其制动性能比用电阻时更为优良。

表 14-24 列举各种电动机能耗制动的接线方式、制动特性及其适用范围。

表 14-24 各种电动机能耗制动的性能

电动机类型	异步电动机	直流电动机	同步电动机	
			电阻	频敏变阻器
接线方式				
制动特性				
参数	一般取 $I_f=(1\sim3)I_0$ I_f 越大,制动转矩越大 $R_b=\dfrac{U_f}{I_f}-2r_{Mn}$	制动电阻 $R_b=\dfrac{E}{I_b}-R_a$ 一般取 $I_b=(1.5\sim2.0)I_N$	$Z_1=\dfrac{U_{1N}}{\sqrt{3}I_f}$ $R_b=K_1Z_1-r_{Mn}$ 一般取 $I_1=I_{1N}$ $I_f=1\sim2I_{fN}$	
特点	(1)制动转矩较平滑,可方便地改变制动转矩; (2)制动转矩随转速的降低而减小; (3)可使生产机械可靠地停止; (4)能量不能回馈电网,效率较低; (5)串励直流电动机因其励磁电流随制动电流的减小而减小,低速时不能得到需要的制动转矩,不宜采用能耗制动			
适用的场所	(1)适用于经常启动、频繁逆转并要求迅速准确停车的机械,如轧钢车间升降台等; (2)并励直流电动机一般采用能耗制动; (3)同步电动机和大容量笼型异步电动机因反接制动冲击电流太大,功率因数低,亦多采用能耗制动; (4)交流高压绕线转子异步电动机为防止集电环上感应高压,亦多采用能耗制动; (5)采用一套变流器供电的不可逆晶闸管供电系统,亦多采用能耗制动			

注:I_{1N}—定子额定电流(A);I_f—励磁电流(A);I_{fN}—转子额定励磁电流(A);I_b—初始制动电流;k_f—制动时阻抗与额定阻抗的比值;U_{1N}—定子额定电压(V);E—制动时电枢反电动势(V);R_b—制动电阻(Ω);R_a—电枢电阻(Ω);R_d—电动机定子绕组电阻(Ω);U_f—直流励磁电压(V);r_{Mn}—电动机定子绕组每相电阻(Ω);I_0—定子空载电流(A)。

14.5.2 反接制动

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

5.1.2.3 反接制动

反接制动是将三相交流异步电动机的电源相序反接或将直流电动机的电源极性反接而产生制动转矩的一种电制动方法。表 14-25 中列出几种电动机采用反接制动时的接线方式、制动特性及其适用的范围。

反接制动时,电动机转子电压很高,有较大的反接制动电流。为了限制反接电流,在转子中必须再串接反接制动电阻 r_{fb}。绕线转子异步电动机在反接制动时,转子接频敏变阻器比接电阻更好。因其阻抗可随频率的变化而变化,能自动地限制反接制动电流,因此它更适应于经常反接的系统,能获得平滑的正反向运转。

反接继电器 KA1、KA2 是保证当反接制动开始时,将反接电阻 r_{fb} 接入电路,而当制动到电动机转速接近于零时,将电阻 r_{fb} 短接。因此要正确地整定反接继电器的吸合电压及其线圈的连接点,见图 14-69。继电器 KA2 的线圈连接在 A、B 两点上。当反接制动开始时,KA2 断开,电阻 r_{fb} 接入,以限制反接制动电流。此时使电源电压 U_N 与电阻 r_x 上压降相等,则电动机的反电动势 E 大致上与 r_s 上的压降相等,所以继电器 KA2 线圈两端电压接近于零,KA2 不吸合。当电动机转速接近零时,$E=0$,KA2 线圈两端电压升高,使 KA2 吸合,KA2 触头将 r_{fb} 短接,反接制动完毕。

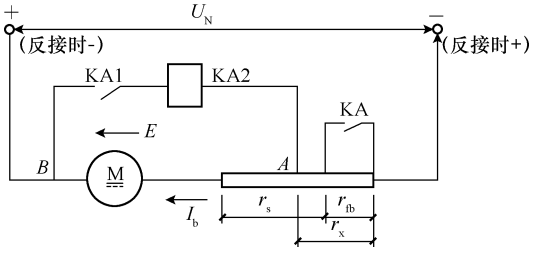
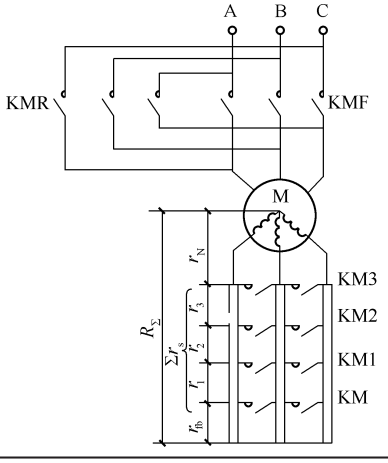
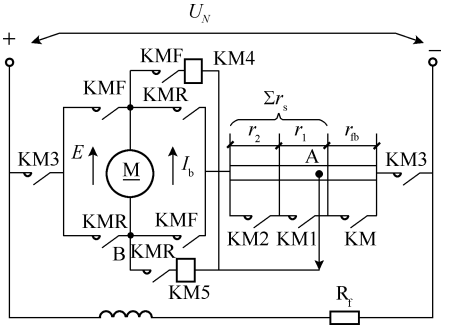
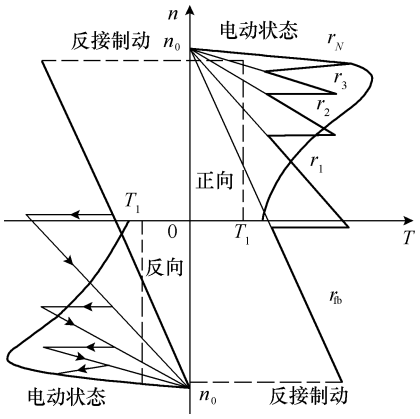
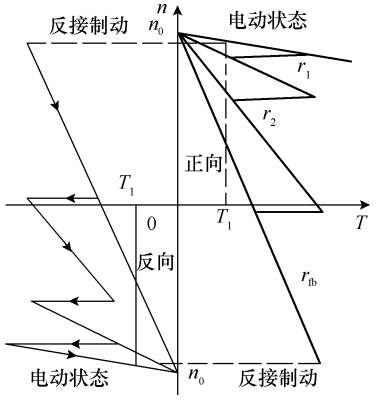


图 14-69 反接继电器整定简图

表 14-25 反接制动的接线方式和制动特性

电动机类型	异步电动机	直流电动机
接线方法		

续表

电动机类型	异步电动机	直流电动机
制动特性		
制动电阻(Ω)计算	$R_{\sum}=\frac{s_{fj}}{T_{fj}^*}R_{2N}$ $r_{fb}=R_{\sum}-\sum r_s-r_N$ $R_{2N}=\frac{U_{2N}}{\sqrt{3}I_{2N}}, r_N=s_N R_{2N}$ 一般取 $T_{fj}^*=1.5\sim2.0$	$r_{fb}=\frac{U_N+E_{max}}{I_{hbmax}}-(r_s+\sum r_s)$ 一般取 $I_{hmax}=(1.5\sim2.5)I_N$
特点	(1)在任何转速下制动都有较强的制动效果; (2)制动转矩较大且基本恒定; (3)制动开始时,直流电动机电枢或交流电动机定子上相当于施加两倍额定电压,为防止初始制动电流过大,应串入较大阻值的电阻,能量损耗较大,不经济; (4)绕线转子异步电动机采用频敏变阻器进行反接制动最为理想,因反接开始时,$s_{fj}=2$,频敏变阻器阻抗增大一倍,可以较好地限制制动电流,并得到近似恒定的制动转矩; (5)制动到零时应切断电源,否则有自动逆转的可能	
适用的场所	(1)适用于需要正、反转的机械,如轧钢车间辊道及其他辅助机械; (2)串励直流电动机多用反接制动; (3)笼型电动机因转子不能接入外接电阻,为防止制动电流过大而烧毁电动机,只有小功率(10kW 以下)电动机才能采用反接制动	

注:$R_{\sum}$——反接制动时,转子回路总电阻;

r_{fb}——反接制动电阻;

T_{fj}^*——反接制动转矩的标幺值,$T_{fj}^*=T_{fi}/T_N$;

I_{bmax}——允许最大的反接制动电流;

s_{fj}——反接制动开始时,电动机的转差率,一般取 $s_{fj}=2$;

E_{max}——电动机最大反电动势;

$\sum r_s$——启动电阻之和;

r_s——电动机电枢电阻。

s_N——额定转差率;

连接点 A 由下述关系决定,反接开始时,制动电流 $I_b=I_{bmax}$,$E=E_{max}\approx U_N$,所以有

$$I_{bmax}r_x=U_N \quad r_x=\frac{U_N}{I_{bmax}}$$

由于 $I_{bmax}=(U_N+E_{max})/E_{\sum}$,$R_{\sum}=r_s+r_{fb}$,所以

$$r_x = R_\Sigma \frac{U_N}{U_N + E_{max}} \approx \frac{1}{2} R_\Sigma$$

即继电器 KA2 连接点 A，应设在电阻 R_Σ 值的一半处，KA2 的吸合电压一般整定在 0.4～0.45U_N。

14.5.3 回馈制动

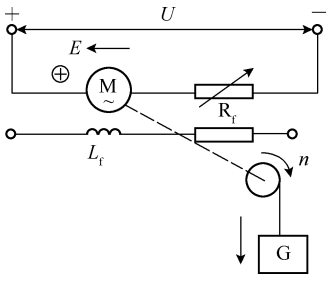
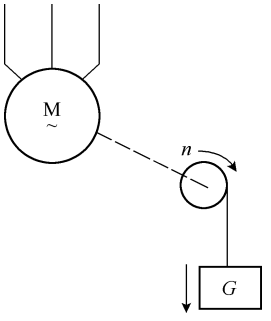
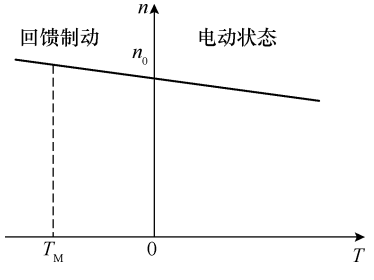
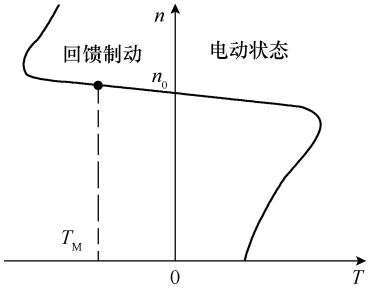
规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)



5.1.2.4 回馈制动

回馈制动是当三相交流异步电动机转速大于理想空载转速时，将电能返回电源系统的一种电制动方式。当电动机被生产机械的位势负载或惯性拉着作为发电机运转时，将机械能变为电能，送回电网而得到制动转矩。此时，其转速 n 大于同步转速 n_0，其运行特性曲线在第二象限，此时电动机工作状态如同一个与电网并联的异步发电机，同时从电网吸取无功功率作励磁之用。三相交流异步电动机回馈制动，常用于多速(变极对数)三相交流异步电动机由高速换接到低速过程中产生制动作用。表 14-26 列出各类电动机采用回馈制动时的接线方式、制动特性及适用的场所。

表 14-26 回馈制动的性能

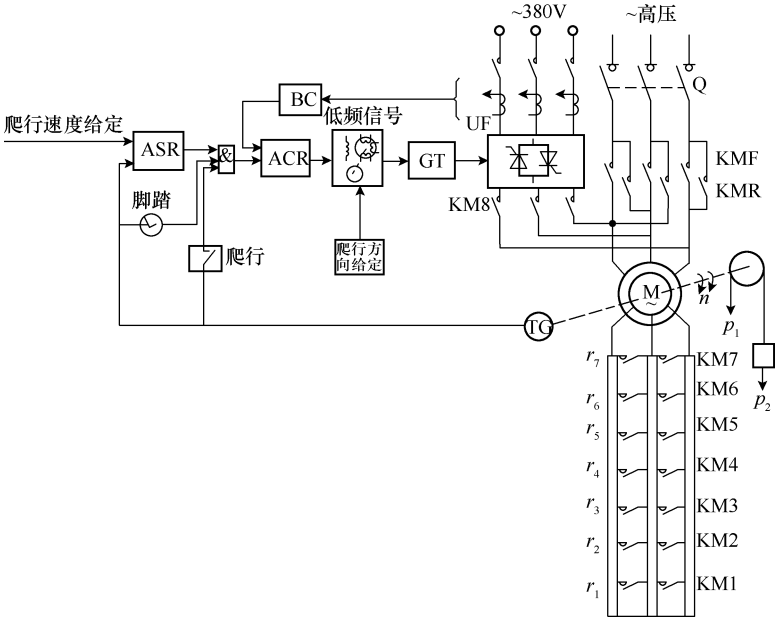
电动机类型	直流电动机	异步电动机
接线方式		
制动特性		
特点	(1)能量可回馈电网，效率高，经济； (2)只能在 $n > n_0$ 时得到制动转矩	
适用的场所	适用于位势负载场合，如高速时重物下放；获得稳定制动，如起重机下放负载等	

14.5.4 低频制动

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

5.1.2.5 低频制动

某些大功率交流传动机械(如卷扬机等)要求有较好的制动特性,同时也要求有一个很低的稳定的爬行速度,以保证停车时的准确性及减小停车时的冲击。一般可采用低频制动,见图 14-70。其制动时的机械特性见图 5-19。当需要从高速进行制动时,先将高压供电主电路接触器 KMF 和 KMR 断开,并将转子接触器 KM1～KM7 全部断开,转子外接电阻 r_1～r_7 全部接入。然后接通接触器 KM8,通过交－交型晶闸管变频器 UF 从 380V 电源向电动机定子电路中通入一个 2～4Hz 的低频、低压电源,使绕线转子异步电动机转入制动状态,其转速从高速 n_1 向低频供电时的空载同步转速 n_{02} 进行减速。此时的制动工作方式与能耗制动完全类似。



UF—交－交型低频变频器;GT—触发器;ACR—电流调节器;
BC—电流变换器;ASR—速度调节器;TG—测速发电机

图 14-70 低频制动原理电路

为了保证获得较恒定的制动转矩(制动转矩变化过大,容易引起卷扬机钢丝绳打滑),与启动过程一样,制动时转子电路中采用 7 级电阻逐级切换。全部电阻短接后,转速已减到很低速度时,绕线转子异步电动机便过渡到低频供电时的自然机械特性上,并在稳定的爬行速度下运转。当卷扬机达到停车位置时,切断低频电源(断开接触器 KM8),用机械制动器制动,使生产机械停在准确的位置上。由于此时转速已很低,故停车制动时几乎没有冲击,且停车位置准确。

低频供电电源可用低频发电机组或采用晶闸管交－交变频装置,其功率大约只为主电动机功率的 5%～10%。比如,一台主电动机为 1000kW 的卷扬机,其低频供电电源容量约为 50kV·A。因易于实现闭环控制,故可以获得稳定的爬行速度。

14.6 电动机保护配置及计算方法

14.6.1 高压电动机继电保护配置及计算

高压电动机继电保护配置及计算参考第 9 章相关内容。

14.6.2 低压电动机保护电器配置及计算

《通用用电设备配电设计规范》(GB 50055—2011)

规范引用

2.3 低压电动机的保护

2.3.1 交流电动机应装设短路保护和接地故障的保护。

2.3.2 交流电动机的保护除应符合《通用用电设备配电设计规范》(GB 50055—2011)第 2.3.1 条的规定外,尚应根据电动机的用途分别装设过载保护、断相保护、低电压保护以及同步电动机的失步保护。

2.3.3 每台交流电动机应分别装设相间短路保护,但符合下列条件之一时,数台交流电动机可共用一套短路保护电器:

1. 总计算电流不超过 20A,且允许无选择切断时。

2. 根据工艺要求,必须同时起停的一组电动机,不同时切断将危及人身设备安全时。

2.3.4 交流电动机的短路保护器件宜采用熔断器或低压断路器的瞬动过电流脱扣器,亦可采用带瞬动元件的过电流继电器。保护器件的装设应符合下列规定:

1. 短路保护兼作接地故障的保护时,应在每个不接地的相线上装设。

2. 仅作相间短路保护时,熔断器应在每个不接地的相线上装设,过电流脱扣器或继电器应至少在两相上装设。

3. 当只在两相上装设时,在有直接电气联系的同一网络中,保护器件应装设在相同的两相上。

2.3.5 当交流电动机正常运行、正常启动或自启动时,短路保护器件不应误动作。短路保护器件的选择应符合下列规定:

1. 正确选用保护电器的使用类别。

2. 熔断体的额定电流应大于电动机的额定电流,且其安秒特性曲线计及偏差后应略高于电动机启动电流时间特性曲线。当电动机频繁启动和制动时,熔断体的额定电流应加大 1 级或 2 级。

3. 瞬动过电流脱扣器或过电流继电器瞬动元件的整定电流应取电动机启动电流周期分量最大有效值的 2～2.5 倍。

4. 当采用短延时过电流脱扣器作保护时,短延时脱扣器整定电流宜躲过启动电流周期分量最大有效值,延时不宜小于 0.1s。

2.3.6 交流电动机的接地故障的保护应符合下列规定:

1. 每台电动机应分别装设接地故障的保护,但共用一套短路保护的数台电动机可共用一套接地故障的保护器件。

2. 交流电动机的间接接触防护应符合现行国家标准《低压配电设计规范》(GB 50054—2011)的有关规定。

3. 当电动机的短路保护器件满足接地故障的保护要求时,应采用短路保护器件兼作接地故障的保护。

2.3.7 交流电动机的过载保护应符合下列规定:

1. 运行中容易过载的电动机、启动或自启动条件困难而要求限制启动时间的电动机,应装设过载保护。连续运行的电动机宜装设过载保护,过载保护应动作于断开电源。但断电比过载造成的损失更大时,应使过载保护动作于信号。

2. 短时工作或断续周期工作的电动机可不装设过载保护,当电动机运行中可能堵转时,应装设电动机堵转的过载保护。

2.3.8 交流电动机宜在配电线路的每相上装设过载保护器件,其动作特性应与电动机过载特性相匹配。

2.3.9 当交流电动机正常运行、正常启动或自启动时,过载保护器件不应误动作。过载保护器件的选择应符合下列规定:

1. 热过载继电器或过载脱扣器整定电流应接近但不小于电动机的额定电流。

2. 过载保护的动作时限应躲过电动机正常启动或自启动时间。热过载继电器整定电流应按下式确定:

$$I_{zd} = K_k K_{jx} \frac{I_{ed}}{nK_h} \tag{14-64}$$

式中 I_{zd}——热过载继电器整定电流(A)

I_{ed}——电动机的额定电流(A);

K_k——可靠系数,动作于断电时取 1.2,动作于信号时取 1.05;

K_{jx}——接线系数,接于相电流时取 1.0,接于相电流差时取$\sqrt{3}$;

K_h——热过载继电器返回系数,取 0.85;

n——电流互感器变比。

3. 可在启动过程的一定时限内短接或切除过载保护器件。

2.3.10 交流电动机的断相保护应符合下列规定:

1. 连续运行的三相电动机,当采用熔断器保护时,应装设断相保护;当采用低压断路器保护时,宜装设断相保护。

2. 断相保护器件宜采用断相保护热继电器,亦可采用温度保护或专用的断相保护装置。

2.3.11 交流电动机采用低压断路器兼作电动机控制电器时,可不装设断相保护;短时工作或断续周期工作的电动机亦可不装设断相保护。

2.3.12 交流电动机的低电压保护应符合下列规定:

1. 按工艺或安全条件不允许自启动的电动机应装设低电压保护。

2. 为保证重要电动机自启动而需要切除的次要电动机应装设低电压保护。次要电动机宜装设瞬时动作的低电压保护。不允许自启动的重要电动机应装设短延时的低电压保护,其时限可取 0.5～1.5s。

3. 按工艺或安全条件在长时间断电后不允许自启动的电动机,应装设长延时的低电压保护,其时限按照工艺的要求确定。

4. 低电压保护器件宜采用低压断路器的欠电压脱扣器、接触器或接触器式继电器的电磁线圈，亦可采用低电压继电器和时间继电器。当采用电磁线圈作低电压保护时，其控制回路宜由电动机主回路供电；当由其他电源供电，主回路失压时，应自动断开控制电源。

5. 对于需要自启动不装设低电压保护或装设延时低电压保护的重要电动机，当电源电压中断后在规定时限内恢复时，控制回路应有确保电动机自启动的措施。

2.3.13 同步电动机应装设失步保护。失步保护宜动作于断开电源，亦可动作于失步再整步装置。动作于断开电源时，失步保护可由装设在转子回路中或用定子回路的过载保护兼作失步保护。必要时，应在转子回路中加装失磁保护和强行励磁装置。

2.3.14 直流电动机应装设短路保护，并根据需要装设过载保护。他励、并励及复励电动机宜装设弱磁或失磁保护。串励电动机和机械有超速危险的电动机应装设超速保护。

2.3.15 电动机的保护可采用符合现行国家标准《低压开关设备和控制设备 第4—2部分：接触器和电动机启动器 交流半导体电动机控制器和启动器（含软启动器）》（GB 14048.6—2008）保护要求的综合保护器。

2.3.16 旋转电动机励磁回路不宜装设过载保护。

14.7 低压电动机控制电器的选择

14.7.1 低压交流电动机的主回路

《通用用电设备配电设计规范》（GB 50055—2011）

规范引用

2.4.1 低压交流电动机主回路宜由具有隔离功能、控制功能、短路保护功能、过载保护功能、附加保护功能的器件和布线系统等组成。

2.4.2 隔离电器的装设应符合下列规定：

1. 每台电动机的主回路上应装设隔离电器，但符合下列条件之一时，可数台电动机共用一套隔离电器：

1）共用一套短路保护电器的一组电动机。

2）由同一配电箱供电且允许无选择地断开的一组电动机。

2. 电动机及其控制电器宜共用一套隔离电器。

3. 符合隔离要求的短路保护电器可兼作隔离电器。

4. 隔离电器宜装设在控制电器附近或其他便于操作和维修的地点。无载开断的隔离电器应能防止误操作。

2.4.3 短路保护电器应与其负荷侧的控制电器和过载保护电器协调配合。短路保护电器的分断能力应符合现行国家标准《低压配电设计规范》（GB 50054—2011）的有关规定。

2.4.4 控制电器的装设应符合下列规定：

1. 每台电动机应分别装设控制电器，但当工艺需要时，一组电动机可共用一套控制电器。

2. 控制电器宜采用接触器、启动器或其他电动机专用的控制开关。启动次数少的电动机，其控制电器可采用低压断路器或与电动机类别相适应的隔离开关。电动机的控制电器

不得采用开启式开关。

3. 控制电器应能接通和断开电动机堵转电流,其使用类别和操作频率应符合电动机的类型和机械的工作制。

4. 控制电器宜装设在便于操作和维修的地点。过载保护电器的装设宜靠近控制电器或为其组成部分。

2.4.5 导线或电缆的选择应符合下列规定:

1. 电动机主回路导线或电缆的载流量不应小于电动机的额定电流。当电动机经常接近满载工作时,导线或电缆载流量宜有适当的裕量;当电动机为短时工作或断续工作时,其导线或电缆在短时负载下或断续负载下的载流量不应小于电动机的短时工作电流或额定负载持续率下的额定电流。

2. 电动机主回路的导线或电缆应按机械强度和电压损失进行校验。对于向一级负荷配电的末端线路以及少数更换导线很困难的重要末端线路,尚应校验导线或电缆在短路条件下的热稳定。

3. 绕线式电动机转子回路导线或电缆载流量应符合下列规定:

1)启动后电刷不短接时,其载流量不应小于转子额定电流。当电动机为断续工作时,应采用导线或电缆在断续负载下的载流量。

2)启动后电刷短接,当机械的启动静阻转矩不超过电动机额定转矩的50%时,不宜小于转子额定电流的35%;当机械的启动静阻转矩超过电动机额定转矩的50%时,不宜小于转子额定电流的50%。

14.7.2 低压交流电动机的控制回路

《通用用电设备配电设计规范》(GB 50055—2011)





2.5.1 电动机的控制回路应装设隔离电器和短路保护电器,但由电动机主回路供电且符合下列条件之一时,可不另装设:

1. 主回路短路保护器件能有效保护控制回路的线路时。

2. 控制器回路接线简单、线路很短且有可靠的机械防护时。

3. 控制回路断电会造成严重后果时。

2.5.2 控制回路的电源及接线方式应安全可靠、简单适用,并应符合下列规定:

1. 当TN或TT系统中的控制回路发生接地故障时,控制回路的接线方式应能防止电动机意外启动或不能停车。

2. 对可靠性要求高的复杂控制回路可采用不间断电源供电,亦可采用直流电源供电。直流电源供电的控制回路宜采用不接地系统,并应装设绝缘监视装置。

3. 额定电压不超过交流50V或直流120V的控制回路的接线和布线应能防止引入较高的电压和电位。

2.5.3 电动机的控制按钮或控制开关宜装设在电动机附近便于操作和观察的地点。当需在不能观察电动机或机械的地点进行控制时,应在控制点装设指示电动机工作状态的灯光信号或仪表。

2.5.4 自动控制或联锁控制的电动机应有手动控制和解除自动控制或联锁控制的措施;远方控制的电动机应有就地控制和解除远方控制的措施;当突然启动可能危及周围人员

安全时，应在机械旁装设启动预告信号和应急断电控制开关或自锁式停止按钮。

2.5.5 当反转会引起危险时，反接制动的电动机应采取防止制动终了时反转的措施。

2.5.6 电动机旋转方向的错误将危及人员和设备安全时，应采取防止电动机倒相造成旋转方向错误的措施。

14.8 电动机调速系统性能指标

14.8.1 调速系统的静态指标

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

4.1.2 调速系统的静态指标

4.1.2.1 稳态调速精度

稳态调速精度是转速给定值 n^* 与实际值 n 之差 Δn 的相对值(%)，其基值为电动机额定转速 n_N。在计算 Δn 时，要考虑三个导致转速变化的因素：

(1)负载转矩变化(从空载至额定转矩 T_N)；

(2)环境温度变化(±10℃)；

(3)供电电网电压变化(−5%～+10%)。

$$\text{稳态调速精度} = \frac{\Delta n}{n_N} \times 100\% = \frac{n^* - n}{n_N} \times 100\% \tag{14-65}$$

4.1.2.2 静差率和调速范围

静差率又称为转速变化率，是指在某一设定转速下，负载由空载($\leqslant 0.1T_N$)到额定负载(T_N)变化时，空载转速 n_0 与额定负载下的转速 n 之差的相对值(%)，其基值是 n(见图 14-71)。

$$\text{静差率} = \frac{n_0 - n}{n} \times 100\% \tag{14-66}$$

静差率与调速系统机械特性的硬度有关，特性越硬，静差率越小；另外，静差率还与工作转速有关，转速越低，静差率越大。

调速范围又称为调速比，是指在符合规定的静差率条件下，电动机从最高转速 n_{max} 到最低转速 n_{min} 的转速变化倍数(见图 14-72)。

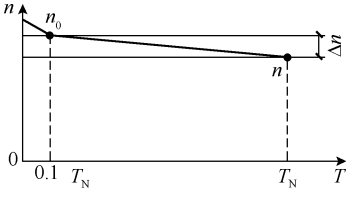


图 14-71 静差率示意

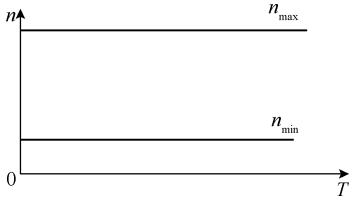


图 14-72 调速范围示意

$$\text{调速范围} = \frac{n_{max}}{n_{min}} \tag{14-67}$$

调速范围和静差率两项指标不是相互孤立的,必须同时提出才有意义。

4.1.2.3 稳速精度

稳速精度是指在规定的电网质量和负载扰动条件下,按给定转速在规定的运行时间 T 内连续运行,每隔一定时间间隔 t_s 测量一次转速平均值,取其中的最大值 n_{tmax} 和最小值 n_{tmin},稳速精度值(%)按下式计算(见图 14-73):

$$\text{稳速精度} = \frac{n_{tmax} - n_{tmin}}{n_{tmax} + n_{tmin}} \times 100\% \tag{14-68}$$

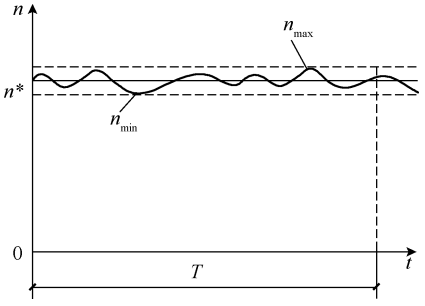


图 14-73 稳速精度示意

4.1.2.4 转速分辨率

在数字控制调速系统中,转速设定值被量化后,严格说来调速是有级的。转速分辨率是指相邻两级转速设定之差 Δn^* 的相对值(%),其基值是最高转速设定值 n^*_{max} 即

$$\text{转速分辨率} = \frac{\Delta n^*}{n^*_{max}} \times 100\% \tag{14-69}$$

转速分辨率取决于数字控制器的位数。

14.8.2 调速系统的动态指标

规范引用 《电气传动自动化技术手册》(第三版)

9.1.1 阶跃给定信号响应指标

在一般电气传动控制系统中,典型的响应特性是速度给定、电流给定(或转矩给定)在阶跃变化后,实际速度、实际电流(或实际转矩)跟随给定变化的时间响应曲线,见图 14-74。

由于系统输出时间响应曲线可能含有大量纹波,如果合同没有特别约定,时间响应曲线应取平均曲线。

此外,从给定信号发出到实际值开始响应可能存在传输延时(滞后)时间 t_0,在具体测量考核时,应予以注意。

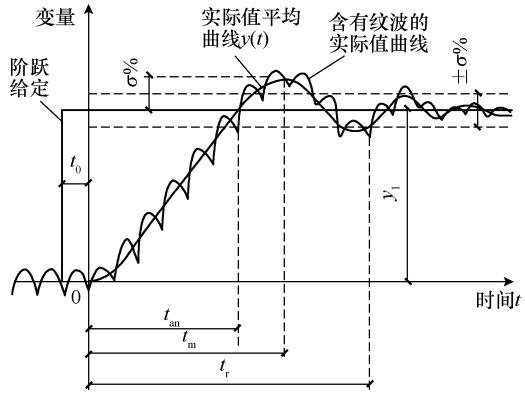
9.1.1.1 响应时间 t_{an}

又称超调时间,是指在规定的运行和使用条件下,施加规定的单位阶跃给定信号,系统实际值第一次达到给定值的时间。

9.1.1.2 动态响应偏差带 $\pm\delta\%$

实际值与给定值相比较的正负偏差值范围,以实际值与给定值相比较的偏差值除以最大给定值的百分数表示,如果没有特别规定,该偏差带一般为±2%左右。

9.1.1.3 超调量 $\sigma\%$



y_1—阶跃给定值；t_0—信号传输时间；t_m—实际值达到最大峰值的时间；
t_{an}—响应时间；t_r—调节时间；$\pm\delta\%$—动态响应偏差带；$\sigma\%$—超调量

图 14-74 在阶跃给定控制信号下的系统响应

实际值超过给定值的最大数值除以最大给定值的绝对值，以百分数表示。

$$\sigma\% = \left|\frac{y(t_m) - y_1}{y_m}\right| \times 100\% \tag{14-70}$$

式中 $y(t_m)$——实际值超过给定值的最大数值；

y_1——给定值；

y_m——最大给定值。

9.1.1.4 调节时间 t_r

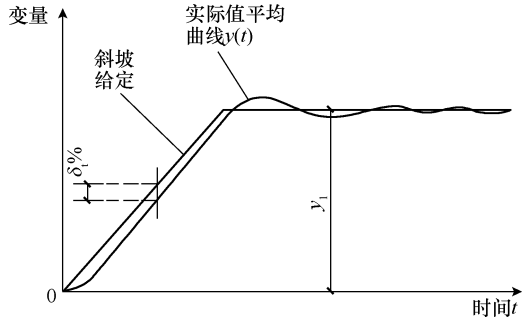
实际值进入偏差带$\pm\delta\%$且不再超出该偏差带的时间。

9.1.1.5 振荡次数 N

实际值在 t_r调节时间内围绕给定值摆动的次数。

9.1.2 斜坡给定信号响应指标

斜坡给定信号的动态响应指标主要是实际值的跟踪误差 $\delta_t\%$，定义为给定值以商定的固定斜率变化至额定值，实际值在跟随给定值变化过程中的误差值与最大给定值的比值，以百分数表示，见图 14-75。

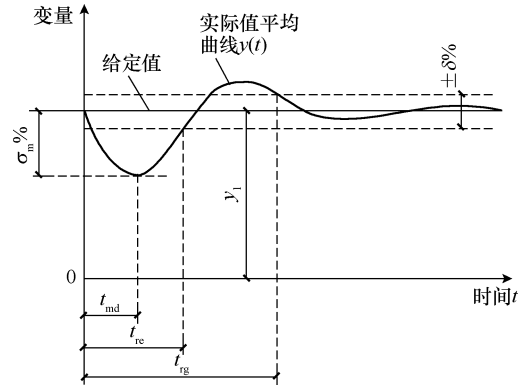


r_1—稳态给定值；$\delta_t\%$—跟踪误差

图 14-75 系统对斜坡给定的响应特性

9.1.3 阶跃扰动信号作用下的指标

这些指标是指在给定不变情况下，在阶跃扰动作用下的控制系统性能指标，主要以动态波动量、回升时间、恢复时间和动态偏差面积等指标衡量，见图 14-76。



y_1—给定值;$\sigma_m\%$—动态波动量;t_{md}—达到最大偏差的时间;t_{re}—动态恢复时间;
t_{rg}—调节时间;$\pm\delta\%$—偏差带

图 14-76 系统对阶跃扰动信号的动态响应

速度控制系统中的负载转矩跃变、电网电压快速波动等一般属于阶跃变化的扰动信号。一般在额定阶跃转矩扰动下考核各项指标。

9.1.3.1 动态波动量 $\sigma_m\%$

在动态扰动下,实际值与给定值的最大偏差绝对值与最大给定值之比,以百分数表示。

$$\sigma_m\% = \left|\frac{y(t_{md}) - y_1}{y_m}\right| \times 100\% \tag{14-71}$$

式中 $y(t_{md})$——实际值与给定值的最大偏差;

y_1——给定值;

y_m——最大给定值。

9.1.3.2 动态波动恢复时间 t_{re}

在动态扰动下,实际值从开始波动到第一次恢复到偏差带$\pm\delta\%$的时间。

9.1.3.3 动态调节时间 t_{rg}

实际值在动态扰动下从开始波动到恢复至偏差带$\pm\delta\%$且不再超出偏差带的时间。

9.1.3.4 动态偏差面积 $A_m\%$

动态波动量 $\sigma_m\%$与动态波动恢复时间 t_{re}的乘积的 1/2 作为动态偏差面积。

$$A_m\% = \left|\frac{\sigma\% \times t_{re}}{2}\right| \tag{14-72}$$

$A_m\%$是衡量电气传动控制系统最重要的动态性能指标之一。

14.9 PLC 的应用

14.9.1 PLC 的基本组成及工作原理

《电气传动自动化技术手册》(第三版)



12.3 可编程序控制器

12.3.1 可编程序控制器的构成和工作原理

12.3.1.1 可编程序控制器的构成

可编程序控制器是一种专用的工业控制装置。它比一般的计算机具有更强的与工业过程相连接的接口和更直接的适用于控制要求的编程语言。所以 PLC 与计算机控制系统相似,也具有电源模块、中央处理单元(CPU)、存储器、输入输出接口模块、编程器和外部设备等。小型 PLC 多为 CPU 与 I/O 接口集成在一起的单元式结构,功能较少,大中型 PLC 系统构成通常采用模块化结构,功能强,设计灵活。其结构框图见图 14-77。

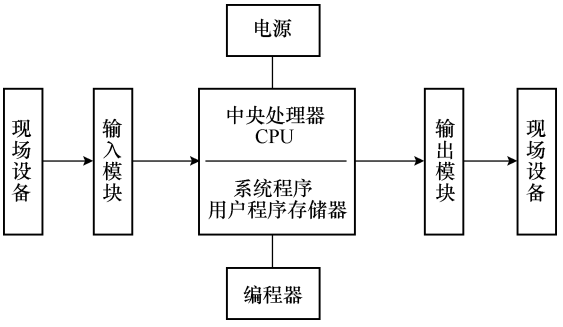


图 14-77 可编程序控制器结构框图

(1)中央处理单元是 PLC 控制系统的中枢。它包括微处理器和控制接口电路。它要完成软硬件系统的诊断,对电源、系统硬件配置、缩程过程中的语法进行检查,并根据不同情况进行处理,在运行过程中,按系统程序赋予的功能,读入存储器内的用户程序,并以扫描方式读入所有输入装置的状态和数据,存入输入映像区中,然后逐条解读用户程序,执行包括逻辑运算、算术运算、比较、变换、数据传输等任务,在扫描程序结束后,更新内部标志位,将结果送入输出映像区或寄存器内,最后将映像区内的各输出状态和数据传送到相应的输出设备中,如此循环运行。CPU 还要完成与编程设备的通信、连接打印机等功能。

(2)存储器是用来存放程序和数据的存储器,包括系统程序存储区、用户程序存储区和系统数据存储区。系统程序存储区存放 PLC 的系统程序,包括监控程序、管理程序、命令解释程序、自诊断程序、模块化功能子程序等,其随 CPU 固化在 EPROM 中。用户程序存储区用于存放用户编制的应用程序,不同的 PLC 存储容量大小不同,有随机的,也有扩展存储的,RAM、EPROM、EEPROM 都可用来存放用户程序。系统数据存储区包括输入过程映像区、输出过程映像区及内部继电器、数据寄存器、定时器、计数器、累加器等。

(3)电源单元是 PLC 内部电源及总线电源供给部分。其作用是把外部供给电源变换成 PLC 内部各单元所需电源。它还应包括掉电保护电路和后备电池电源,以保持 RAM 在外部电源掉电后存储的内容不丢失。因其应用于工业环境中,各种电磁干扰较多,且工业供电电压波动范围较大,应采用电压适应范围宽、输出稳定的专用电源模块。一般电源模块供电电压范围为 AC 85～264V、DC18～30V。

(4)I/O 接口模块是 PLC 的 CPU 与现场输入、输出装置或其他外部设备之间的连接接口部件。PLC 系统通过 I/O 模块与现场设备相连,每个模块都有与之对应的编程地址,模块上具有 I/O 状态显示,为满足不同的需要,有数字量输入输出模块、模拟量输入输出模块、计数器等特殊功能模块可供选择,PLC 所有 I/O 模块都具有光耦合电路,以提高 PLC 的抗干扰能力。I/O 接口模块既可与 CPU 放置在一起,也可通过远程站放置在设备附近。

(5)编程器与外部设备。编程器通过通信接口与 CPU 相连,实现人机对话,用户可通过编程器对 PLC 进行程序编制、系统调试和状态监控等操作。根据功能需要,有手持式和台

式编程器可供选择,手持式编程器多用于小型 PLC 上,采用液晶显示器,信息量少,必须在线编程。大中型 PLC 多采用台式编程器,它由台式计算机或笔记本计算机,配以专用的程序开发软件组成,信息量大,功能齐全,既可实现在线(on-line)和离线(off-line)编程,还可完成程序的上载及打印输出等功能。

12.3.1.2 PLC 的工作原理

继电器联锁控制采用硬件逻辑并行运行的方式,随着继电器线圈的得电或失电,不管在控制线路的哪个位置,该继电器的触点同时动作。而 PLC 是采用计算机技术的软件逻辑联锁,其 CPU 按顺序周期性地逐条扫描用户程序,每次扫描都有一定的时间,当一条语句被执行后,其产生的结果并不马上反映到输出设备上,必须等本次扫描结束后才会被统一执行。但用户程序的扫描顺序也不是固定不变的,可以通过定时中断或外部中断加以调整。

1. I/O 映像区

在 PLC 内开辟了 I/O 映像区。其大小与 PLC 系统 CPU 规模有关。对于系统的每一个输入点,总有输入映像区的一个位与其相对应。对于系统的每一个输出点,都有输出映像区的一个位与其相对应。系统的输入、输出点的编址号与 I/O 映像区映像寄存器地址号相对应。PLC 工作时将采集到的输入信号状态存入输入映像区对应位上;将运算结果存放到输出映像区对应的位上。PLC 在执行用户程序时所需输入输出继电器的数据取用于 I/O 映像区,而不直接与外部设备发生关系。

I/O 映像区的建立,使 PLC 工作时只和内存有关地址单元内所存信息状态发生关系,而系统输出也只给内存某一地址单元设置一状态。这样不仅加快了程序执行速度,而且还使控制系统与外界隔离。同时对外部设备更新时间快慢不影响系统扫描时间,提高了系统的抗干扰能力。

2. 循环扫描的工作方式

PLC 运行时,其循环扫描过程一般分为三个阶段进行,即输入采样阶段、用户程序执行阶段和输出刷新阶段。期间,CPU 以一定的扫描速度重复执行上述过程,见图 14-78。PLC 通电后,系统程序按照一定顺序对系统内部的各种任务进行查询、判断和执行,这个过程实质上是按顺序循环扫描的过程。执行一个循环扫描过程所需的时间称为扫描周期,其典型值为 1～150ms。由于 PLC 工作是采用循环扫描的工作方式,所以在编制用户程序时要特别注意,尽量不要编制循环程序或尽量少用循环语句。而循环时间不能超过系统的循环扫描时间,否则系统不能正常工作。

(1)初始化。初始化即系统上电时对系统进行复位,对一些通信模块及一些智能模块进行初始化设定及同步等。初始化工作只在 PLC 上电时执行一次。如西门子 S7PLC 自动执行组织块(OB100)。

(2)输入采样阶段。PLC 以扫描方式读入所有输入模块的状态和数据,并存入输入映像区的寄存器中,输入采样结束后,转入用户程序执行阶段,此时即使输入状态和数据发生了变化,输入映像区中的内容也不会改变,只能在下一个循环周期中才能被刷新。因此,如果输入信号是脉冲形式,其脉冲宽度必须大于一个扫描周期才能保证被系统接收到。

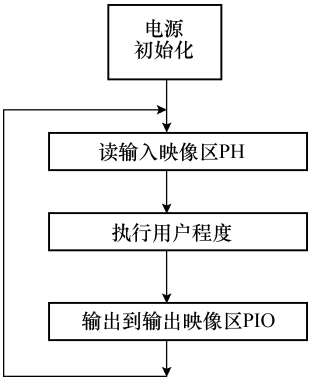


图 14-78 PLC 循环扫描工作过程

(3)程序执行阶段。CPU 总是按一定顺序依次地扫描用户程序,如果程序是梯形图形式,就按照先左后右、先上后下的顺序对控制线路进行解读运算,如果程序是语句表形式,则按照先上后下的顺序对程序进行解读,然后根据解读的结果,刷新系统 RAM 存储区中对应寄存器的状态,或者刷新输出映像区的状态。在用户程序执行过程中,输入映像区内的状态和数据不会发生变化,而输出映像区和内部继电器、数据寄存器、定时器、计数器、累加器等中间变量的状态及数据都有可能发生变化,其状态与在用户程序中的位置有关,同一中间变量在前面改变后将在后面程序应用时起作用。

PLC 的扫描既可按照固定的顺序进行,也可按照用户程序所指定的顺序进行。比如可采取硬件中断方式或时间间隔中断方式来执行程序。这样可使一些要求响应快的任务得到最快的响应,提高了系统的实时性。

(4)输出刷新阶段。当扫描用户程序结束后,PLC 就进入输出刷新阶段,在此期间,CPU 按照输出映像区内对应的状态和数据刷新所有的输出锁存电路,再经输出模块驱动外部设备,达到控制的目的。

3. PLC 系统的扫描周期

PLC 系统的扫描周期为包括系统自诊断、通信、输入采样、用户程序执行和输出刷新等用时的总和。对扫描时间产生影响的因素较多,不同型号、不同系列的 PLC 本身固有的扫描速度是不同的,这与所采用的处理器型号有很大关系。早期的处理器多采用单片机、微处理器,如 MCS51、MC68000、Intel 8086 等。随着近年来计算机技术的发展,功能强、速度快的高档微处理器应用于 PLC 系统,如 80386、80486,有的 PLC 还采用了双 CPU 技术,大大提高了 PLC 的扫描速度。就同型号的 PLC 来说,影响扫描时间的因素主要有:通信所占时间的长短与连接的外部设备多少、通信距离的远近、通信方式、通信介质等(一般大型 PLC 有较大的 I/O 映像区,映像区内 I/O 速度快慢不影响 PLC 扫描时间)。影响系统循环扫描时间的主要因素为:

(1)输入采样和输出刷新所需的时间取决于所连接的 I/O 点数多少。

(2)PLC 的扫描速度与用户程序的长短密切相关,用户程序的长短则取决于控制对象的复杂程度和编程的技巧。同样一个功能,如果程序编制得巧,程序执行得就快,若程序中用了很多循环语句,则程序执行就慢。

(3)除此之外,还必须考虑用户程序中是否含有大量的运算指令和特殊功能指令,因为扫描特殊功能指令的时间远远超过扫描基本逻辑指令所需的时间,而且不同的特殊功能指令所需要的时间都不相同。

14.9.2 PLC 的选型

《电气传动自动化技术手册》(第三版)

规范引用

12.3.5 选型与常用机种

12.3.5.1 PLC 选型

可编程序控制器(PLC)是为满足工业环境应用而设计的特殊的计算机系统,它不但具备通用计算机的 CPU 和存储器,还有十分丰富的 I/O 接口模块,用户可根据工程需要灵活设计、自行组合,以实现最优化控制。由于工业生产多是连续的,这就要求控制系统具有可靠性高、故障率低、抗电磁干扰能力强和维修方便等特点。

1. 中央处理器(CPU)模块的选择

CPU 模块是 PLC 系统的中枢,其性能的好坏、可靠性的高低直接关系到控制系统的先进性和稳定性,在选择时要注意其响应时间、运算速度和内存的大小。另外,在组成系统时,整个系统的响应速度和输入输出的处理方法、网络和扩展机架的多少、传输距离远近等许多因素有关,这是一个综合的指标。PLC 一般采用通用微处理器作为其核心,多为 16 位或 32 位,有的制造厂商还针对 PLC 的特点开发了专用的 CPU 芯片。PLC 主板上多为单 CPU,为了提高系统的快速性,一些功能强的大型 PLC 还采用了双 CPU 或多 CPU 构成系统。这样可以把一个 CPU 的任务分散开,如一个 CPU 完成浮点运算,另一个 CPU 完成位逻辑运算,再一个 CPU 完成与编程器或操作站的通信等。

在一个大的系统(如西门子公司 S7-400H 系统)设计中,为提高系统的可靠性,可选择 CPU 模块及通信冗余设计。

2. 存储器

与微机一样,PLC 系统的软件也分系统软件和应用软件,足够大的内存是保证系统快速运行的必要条件。一般 CPU 的系统程序已固化在 EPROM 中,且随主板提供一定的 RAM 存储区和用户程序存储区,用户不够用的话,还可选择存储卡来扩展容量。存储器种类有下列几种:

(1)RAM。这是一种可随时读/写的存储器,它读写方便,多作为 I/O 映像区和各类软设备区,包括中间继电器、数据寄存器、定时器、计数器和累加器等,与另外两种常用的存储器相比较,其存取速度最快;但作为程序存储器时,必须靠电池保持,否则停电时会造成信息丢失。

(2)EPROM。这是一种可擦除的只读存储器。在紫外线连续照射下,能将存储器内的所有内容清除。用户在程序编完后,用专用编程器离线写入程序。在断电情况下,存储器内的所有内容保持不变,因此一般用来存放系统程序及需要永久保存的用户程序。

(3)EEPROM。这是一种可电擦除的只读存储器,它兼有 RAM 和 EPROM 的优点,使用编程器就能很容易地对其所存储的内容进行修改,但必须在把其内容全部清除后才能写入程序,且其读/写操作的次数有限,约为 10000 次。

3. 数字量输入模块的选择

数字量信号又称为开关量、离散量,是在生产过程中使用最多的变量,输入设备包括按钮、转换开关、限位开关、接近开关、继电器触点等,每个模块的点数一般有 4 点、8 点、16 点、32 点、48 点、64 点等。

(1)电压等级。

数字量输入信号有交流和直流两种,较常见的为 DC 5V、DC 12V、DC 24V、DC 48V、DC 115V、AC 48V、AC 115V、AC 220V 等,根据现场不同的要求,选择不同的产品型号,一些模块在同一电压等级下交直流信号通用。在选择信号电压等级时,要注意现场的实际情况,以 DC 24V 应用最多,若现场有防火、防爆、防可燃性气体或灰尘的要求,必须安装安全栅或本安型模块。在电缆传输距离较长时,能量损耗较大,造成逻辑高电平电压过低,此时应采用 48V/115V/220V 等电压等级输入。

(2)模块密度。

每块模块的路数从 4 点到 64 点不等,低密度模块接线方便,但占用空间太大。高密度模块受本身空间的制约,需选用专用的接线端子板和插件将信号引至宽松的环境,增加了造

价，所以模块路数多选用为 16 点和 32 点。

(3)响应时间。

交流输入模块一般包括整流电路、隔离电路、滤波电路和指示电路，直流输入模块包括隔离电路、滤波电路和指示电路，滤波电路一般采用 RC 电路，它可以抑制外部干扰脉冲信号，但也使响应延迟 10～25ms。为使 CPU 能读取到外部信号变化，输入信号的维持时间必须大于一个扫描周期与模块响应延迟时间之和，因此快速响应的现场控制，要选择输入信号延迟时间短的模块。

(4)光隔离。

并不是所有的模块都有光隔离，外部电路串进来的信号波形尖峰脉冲、电压电流冲击会造成误动作或模块的损坏，为抑制这些干扰，尽量选择每个通道配置光隔离功能的模块。

典型输入电路见图 14-79，其中直流数字输入电路见图 14-79a，交流数字输入电路见图 14-79b。

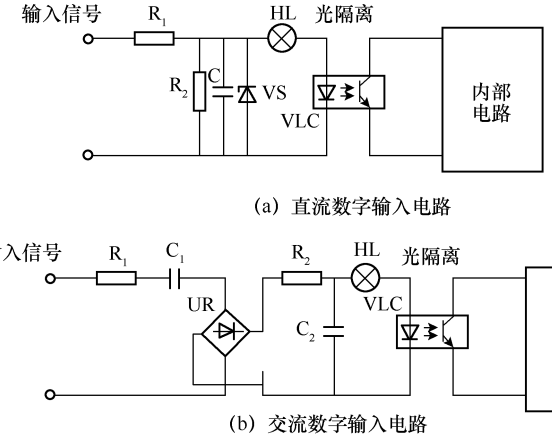


图 14-79 典型输入电路

4. 数字量输出模块的选择

数字量输出模块用来驱动生产过程中的执行机构和显示生产状态，主要包括继电器、信号灯、电磁阀、报警器、电机等。

(1)输出方式。数字量输出模块大多采用晶体管、双向晶闸管或继电器触点构成，前两种开关频率较高，驱动能力较小，每点的输出电流为 0.25～3A 之间。继电器输出模块驱动能力较大，每点的输出电流为 5～7A，因触点隔离效果好，便于多种形式的外部设备共用一块模块，但其工作频率和使用寿命较无触点方式要低。

(2)输出功率的选择。对输出模块而言，要考虑每一个通道独立工作时连续输出电流和模块本身允许输出的最大电流，设计系统时应结合实际情况，合理分配每块模块的输出信号，尽量避免在同一时间内、同一模块上所有输出同时动作。若单点输出能力不足，可采用两点输出驱动同一台设备或加中间继电器的方法加以解决。

(3)噪声电压的抑制。对于感性负载，当输出点接通和断开的瞬时会产生噪声电压，必须采取措施加以抑制，对于交流输出模块，可以在负载两端并联 RC 吸收电路，对于直流输出模块，可以在负载两端并联二极管电路加以吸收。

(4)响应时间。继电器输出电路包括指示电路、隔离电路、继电器,其输出为继电器触点,开关频率较低,约为 3600 次/h,响应时间较长,约为 10ms。双向晶闸管的输出电路一般包括指示电路、隔离电路、双向晶闸管、RC 吸收电路、熔丝管、故障指示和检测电路,其响应时间比继电器输出短,由 off 变为 on 时,小于 1ms,当由 on 变为 off 时时间较长,由于晶闸管特点,一旦导通后,其门极的控制信号不再起作用,只有当阳极电流小于其维持电流时,才能关断。晶体管输出电路响应时间较短,不论由"off"变为"on"还是由"on"变为"off",均不超过 2ms。

典型输出电路见图 14-80,其中继电器数字输出电路见图 14-80a,双向晶闸管数字输出电路见图 14-80b,晶体管数字输出电路见图 14-80c。

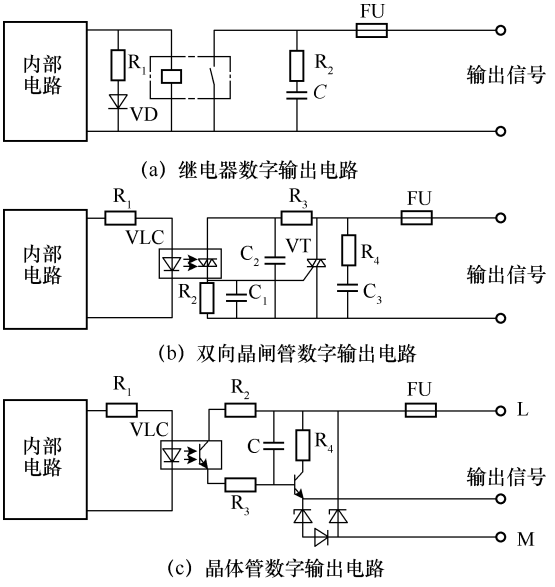


图 12-80 典型输出电路

5. 模拟量输入模块的选择

在工业生产过程中,存在着大量的连续变化的信号,如温度、料位、流量、压力、位移等,通过各种传感器及检测仪器仪表将其转化为连续的电气量,如电压信号或电流信号,需将这些信号连接到适当的模拟量输入模块上,经过模/数转换器变成数字量,使 PLC 能够识别接收。

(1)模拟信号的输入方式。检测元件的输出一般为电压型和电流型信号,其电压信号范围有−1～+1V、−5～+5V、0～10V、−10～+10V,有的仪表将受检变量转换成电流信号,其范围为 4～20mA、−20～+20mA。电压信号使用方便,但在长距离传输时存在较大的衰减,使用电流信号就能避免这个问题,所以必须根据现场输入信号的形式和测量范围合理选择模块类型。另外一些厂商生产的 PLC 也相应地开发了热电偶及热电阻(如 Pt100、Pt200 等)温度检测模拟量输入模块。

(2)数值的对应关系和分辨率。对于每一种检测仪表,都有其自身的测量范围,检测结果对应着模拟量信号大小,其最大值不能超过输入模块的量程。例如,电机转速为 0～1000r/min,对应 0～10V;闸门打开角度 0～360°,对应 4～20mA 等。输入模块通过 A/D 转换器将其转换成数字量,模块不同,变成数字量的位数也不相同,一般有 12 位、13 位、14 位、

16 位等，位数越多，分辨率越高，检测精度也越高。

(3)转换时间。转换时间包括基本转换时间和处理时间，基本转换时间取决于输入通道的转换方法，一个模拟量输入模块通常包括 2 路、4 路、8 路、16 路输入，模/数转换器以循环扫描方式逐一采集每一路输入，转换成数字化的测量值，再以中断命令的形式传递给 CPU 进行处理，由于不同厂商使用的芯片不同，采样时间差异也大，为 10～20ms。一般几路输入通过模块内部的多路转换器切换到一块模/数转换器上，这样同一转换器通道越多，时间就越长。

(4)输入端的连接方式。现场检测设备多种多样，其提供的信号方式也不尽相同，当模拟信号为电压信号时，有单端输入和差压输入两种；当输入为电流信号时，二线式变送器通过模块供电，四线式变送器需要单独供电电源。工业环境中存在着很多的干扰源，接线时要特别注意电缆的屏蔽和保护，尽量使用双绞屏蔽电缆，屏蔽电缆两端的屏蔽层应接地。其典型框图见图 14-81。

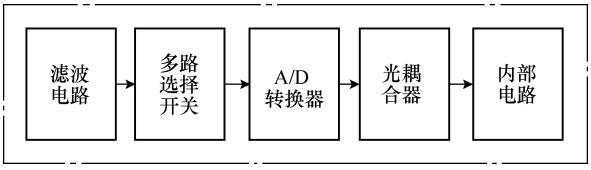


图 14-81 模拟量输入模块框图

6. 模拟量输出模块的选择

在工业生产过程中，需要对现场执行机构进行连续调节或数值显示时，就需要 PLC 能够输出模拟的电压、电流信号来驱动。

(1)模拟量输出模块有一个数/模转换器，它接收 CPU 运算后的数值，并按比例把其转换成模拟量信号输出，电压变化范围有 0～5V、－10～＋10V 等，电流输出范围有 4～20mA、－20～＋20mA。

(2)分辨率，同模拟量输入模块一样，输出模块的数/模转换器也有 10 位、12 位、16 位等，位数不同，分辨率也不同，位数越多，输出信号的波形阶梯越小，连续性越好。

(3)转换时间，输出通道的转换时间包括从内部存储区传送数字化输出值和数模转换时间，一般为 15～25ms。

其典型框图见图 14-82。

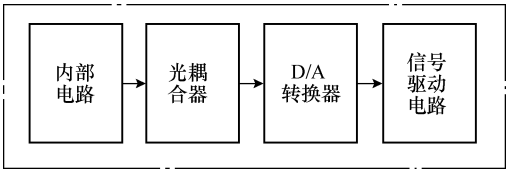


图 14-82 模拟量输出模块框图

7. 特殊功能模块

随着 PLC 应用领域的扩大和技术的发展，为适应现场某些特殊控制的需要，各厂商都设计了相应的智能模块，如高速计数器模块、PID 调节模块、定位模块、电子凸轮控制器模块等，这些模块均带有自己的微处理器(CPU)和存储器等，能独立完成所赋予的任务，而不需占用主 CPU 模块的资源。下面简单介绍高速计数器模块的选择方法。

高速计数器模块用于连接旋转编码器、脉冲发生器等设备，实时检测计量脉冲信号，根

据每个脉冲变化对应的当量值,精确地反映现场设备的位置或速度的变化情况。

(1)输入的脉冲形式。连接设备提供的脉冲信号可以是单相的,也可以是两相的,幅值可以是5V、12V、24V等。

(2)计数频率。输入通道的计数频率指每秒能分辨的脉冲数,一般有20kHz、50kHz、200kHz、500kHz等,它体现了模块的性能高低,但实际选用时,要看外部信号的变化间隔,不能盲目追求高性能,因其价格往往相差甚远。

(3)计数范围。计数器一路通道一般为32位或正负位加31位,即两个字。

(4)计数方式。根据需要,高速计数模块有多种工作方式,如向上计数、向下计数、上升沿计数、下降沿计数、电平计数等。

8. 通信处理模板

早期的PLC控制系统多为集中方式,由中央机架和3或4个扩展机架组成,所有外部信号通过硬接线方式连至中央控制室。随着计算机技术和通信技术的发展,PLC控制系统也发生了巨大变化,通信速度更快,传输距离更远,可靠性更高。PLC的通信通常包括上位机和PLC之间、PLC和PLC之间、PLC和远程I/O之间及PLC和传动设备的通信。

(1)通信的物理接口。一般有RS232C、RS422、RS485等方式,不同厂商都推出了自己的通信网络,如Schneider公司的MODICON MB+、MB,SIEMENS公司的Profibua DP,Rock-well公司的AB DH、DH+等。

(2)通信协议。有主从通信和对等通信等。

(3)通信速率。采用RS232C、RS422通信方式时,从1.2~9.6Kbps不等,较远距离多采用RS485方式,如SIEMENS公司推出的现场总线方式的Profibus DP网络可从9.6Kbps~12Mbps,工业以太网的速率更高,已达到10Mbps/100Mbps。不同的通信介质和传输距离也会影响到通信速率,双绞屏蔽线经济实用,但传输距离较短;光纤传输距离可达到数十千米,且不受电磁干扰的影响,但接线需要专用的熔接设备。

15 建筑智能化

15.1 火灾自动报警系统及消防联动控制的设计要求

15.1.1 火灾自动报警系统的设置原则

15.1.1.1 建筑防火分类

规范引用 《高层民用建筑设计防火规范》(2005 年版)(GB 50045—1995)

3.0.1 高层建筑应根据其使用性质、火灾危险性、疏散和扑救难度等进行分类,并应符合表 15-1 的规定。

表 15-1 建筑分类

名称	一类	二类
居住建筑	十九层及十九层以上的普通住宅	十层至十八层的普通住宅
公共建筑	1. 医院 2. 高级旅馆 3. 建筑高度超过 50m 或 24m 以上部分的任一楼层的建筑面积超过 1000m² 的商业楼、展览楼、综合楼、电信楼、财贸金融楼 4. 建筑高度超过 50m 或 24m 以上部分的任一楼层的建筑面积超过 1500m² 的商住楼 5. 中央级和省级(含计划单列市)广播电视楼 6. 网局级和省级(含计划单列市)电力调度楼 7. 省级(含计划单列市)邮政楼、防灾指挥调度楼 8. 藏书超过 100 万册的图书馆、书库 9. 重要的办公楼、科研楼、档案楼 10. 建筑高度超过 50m 的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等	1. 除一类建筑以外的商业楼、展览楼、综合楼、电信楼、财贸金融楼、商住楼、图书馆、书库 2. 省级以下的邮政楼、防灾指挥调度楼、广播电视楼、电力调度楼 3. 建筑高度不超过 50m 的教学楼和普通的旅馆、办公楼、科研楼、档案楼等

15.1.1.2 高层民用建筑火灾自动报警系统设置原则

规范引用 《高层民用建筑设计防火规范》(2005年版)(GB 50045—1995)



7.6.1 建筑高度超过100m的高层建筑及其裙房,除游泳池、溜冰场、建筑面积小于5.00m²的卫生间、不设集中空调且户门为甲级防火门的住宅的户内用房和不宜用水扑救的部位外,均应设自动喷水灭火系统。

7.6.2 建筑高度不超过100m的一类高层建筑及其裙房,除游泳池、溜冰场、建筑面积小于5.00m²的卫生间、普通住宅、设集中空调的住宅的户内用房和不宜用水扑救的部位外,均应设自动喷水灭火系统。

7.6.3 二类高层公共建筑的下列部位应设自动喷水灭火系统:

7.6.3.1 公共活动用房;

7.6.3.2 走道、办公室和旅馆的客房;

7.6.3.3 自动扶梯底部;

7.6.3.4 可燃物品库房。

7.6.4 高层建筑中的歌舞娱乐放映游艺场所、空调机房、公共餐厅、公共厨房以及经常有人停留或可燃千赫多的地下室、半地下室房间等,应设自动喷水灭火系统。

7.6.5 超过800个座位的剧院、礼堂的舞台口宜设防火幕或水幕分隔。

7.6.6 高层建筑内的下列房间应设置除卤代烷1211、1301以外的自动灭火系统:

7.6.6.1 燃油、燃气的锅炉房、柴油发电机房宜设自动喷水灭火系统;

7.6.6.2 可燃油油浸电力变压器、充可燃油的高压电容器和多油开关室宜设水喷雾或气体灭火系统。

7.6.7 高层建筑的下列房间,应设置气体灭火系统:

7.6.7.1 主机房建筑面积不小于140m²的电子计算机房中的主机房和基本工作间的已记录磁、纸介质库;

7.6.7.2 省级或超过100万人口的城市,其广播电视发射塔楼内的微波机房、分米波机房、米波机房、变配电室和不间断电源(UPS)室;

7.6.7.3 国际电信局、大区中心,省中心和一万路以上的地区中心的长途通信机房、控制室和信令转接点室;

7.6.7.4 二万线以上的市话汇接局和六万门以上的市话端局程控交换机房、控制室和信令转接点室;

7.6.7.5 中央及省级治安、防灾和网、局级及以上的电力等调度指挥中心的通信机房和控制室;

7.6.7.6 其他特殊重要设备室。

注:当有备用主机和备用已记录磁、纸介质且设置在不同建筑中,或同一建筑中的不同防火分区内时,7.6.7.1条中指定的房间内可采用预作用自动喷水灭火系统。

7.6.8 高层建筑的下列房间应设置气体灭火系统,但不得采用卤代烷1211、1301灭火系统:

7.6.8.1 国家、省级或藏书量超过100万册的图书馆的特藏库;

7.6.8.2 中央和省级档案馆中的珍藏库和非纸质档案库;

7.6.8.3 大、中型博物馆中的珍品库房；

7.6.8.4 一级纸、绢质文物的陈列室；

7.6.8.5 中央和省级广播电视中心内，面积不小于120m²的音、像制品库房。

7.6.9 高层建筑的灭火器配置应按现行国家标准《建筑灭火器配置设计规范》(GB 50140—2005)的有关规定执行。

15.1.1.3 火灾自动报警系统的基本规定

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

3.1 一般规定

3.1.1 火灾自动报警系统可用于人员居住和经常有人滞留的场所、存放重要物资或燃烧后产生严重污染需要及时报警的场所。

3.1.2 火灾自动报警系统应设有自动和手动两种触发装置。

3.1.3 火灾自动报警系统设备应选择符合国家有关标准和有关市场准入制度的产品。

3.1.4 系统中各类设备之间的接口和通信协议的兼容性应符合现行国家标准《火灾自动报警系统组件兼容性要求》(GB 22134—2008)的有关规定。

3.1.5 任一台火灾报警控制器所连接的火灾探测器、手动火灾报警按钮和模块等设备总数和地址总数，均不应超过3200点，其中每一总线回路连接设备的总数不宜超过200点，且应留有不少于额定容量10%的余量；任一台消防联动控制器地址总数或火灾报警控制器(联动型)所控制的各类模块总数不应超过1600点，每一联动总线回路连接设备的总数不宜超过100点，且应留有不少于额定容量10%的余量。

3.1.6 系统总线上应设置总线短路隔离器，每只总线短路隔离器保护的火灾探测器、手动火灾报警按钮和模块等消防设备的总数不应超过32点；总线穿越防火分区时，应在穿越处设置总线短路隔离器。

3.1.7 高度超过100m的建筑中，除消防控制室内设置的控制器外，每台控制器直接控制的火灾探测器、手动报警按钮和模块等设备不应跨越避难层。

3.1.8 水泵控制柜、风机控制柜等消防电气控制装置不应采用变频启动方式。

3.1.9 地铁列车上设置的火灾自动报警系统，应能通过无线网络等方式将列车上发生火灾的部位信息传输给消防控制室。

3.2 系统形式的选择和设计要求

3.2.1 火灾自动报警系统形式的选择，应符合下列规定：

1. 仅需要报警，不需要联动自动消防设备的保护对象宜采用区域报警系统。

2. 不仅需要报警，同时需要联动自动消防设备，且只设置一台具有集中控制功能的火灾报警控制器和消防联动控制器的保护对象，应采用集中报警系统，并应设置一个消防控制室。

3. 设置两个及以上消防控制室的保护对象，或已设置两个及以上集中报警系统的保护对象，应采用控制中心报警系统。

3.2.2 区域报警系统的设计，应符合下列规定：

1. 系统应由火灾探测器、手动火灾报警按钮、火灾声光警报器及火灾报警控制器等组成，系统中可包括消防控制室图形显示装置和指示楼层的区域显示器。

2. 火灾报警控制器应设置在有人值班的场所。

3. 系统设置消防控制室图形显示装置时,该装置应具有传输《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录 A 和附录 B 规定的有关信息的功能;系统未设置消防控制室图形显示装置时,应设置火警传输设备。

3.2.3 集中报警系统的设计,应符合下列规定:

1. 系统应由火灾探测器、手动火灾报警按钮、火灾声光警报器、消防应急广播、消防专用电话、消防控制室图形显示装置、火灾报警控制器、消防联动控制器等组成。

2. 系统中的火灾报警控制器、消防联动控制器和消防控制室图形显示装置、消防应急广播的控制装置、消防专用电话总机等起集中控制作用的消防设备,应设置在消防控制室内。

3. 系统设置的消防控制室图形显示装置应具有传输《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录 A 和附录 B 规定的有关信息的功能。

3.2.4 控制中心报警系统的设计,应符合下列规定:

1. 有两个及以上消防控制室时,应确定一个主消防控制室。

2. 主消防控制室应能显示所有火灾报警信号和联动控制状态信号,并应能控制重要的消防设备;各分消防控制室内消防设备之间可互相传输、显示状态信息,但不应互相控制。

3. 系统设置的消防控制室图形显示装置应具有传输《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录 A 和附录 B 规定的有关信息的功能。

4. 其他设计应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第 3.2.3 条的规定。

3.3 报警区域和探测区域的划分

3.3.1 报警区域的划分应符合下列规定:

1. 报警区域应根据防火分区或楼层划分;可将一个防火分区或一个楼层划分为一个报警区域,也可将发生火灾时需要同时联动消防设备的相邻几个防火分区或楼层划分为一个报警区域。

2. 电缆隧道的一个报警区域宜由一个封闭长度区间组成,一个报警区域不应超过相连的 3 个封闭长度区间;道路隧道的报警区域应根据排烟系统或灭火系统的联动需要确定,且不宜超过 150m。

3. 甲、乙、丙类液体储罐区的报警区域应由一个储罐区组成,每个 50000m^3 及以上的外浮顶储罐应单独划分为一个报警区域。

4. 列车的报警区域应按车厢划分,每节车厢应划分为一个报警区域。

3.3.2 探测区域的划分应符合下列规定:

1. 探测区域应按独立房(套)间划分。一个探测区域的面积不宜超过 500m^2;从主要入口能看清其内部,且面积不超过 1000m^2 的房间,也可划为一个探测区域。

2. 红外光束感烟火灾探测器和缆式线型感温火灾探测器的探测区域的长度不宜超过 100m;空气管差温火灾探测器的探测区域长度宜为 20～100m。

3.3.3 下列场所应单独划分探测区域:

1. 敞开或封闭楼梯间、防烟楼梯间。

2. 防烟楼梯间前室、消防电梯前室、消防电梯与防烟楼梯间合用的前室、走道、坡道。

3. 电气管道井、通信管道井、电缆隧道。

4. 建筑物闷顶、夹层。

3.4 消防控制室

3.4.1 具有消防联动功能的火灾自动报警系统的保护对象中应设置消防控制室。

3.4.2 消防控制室内设置的消防设备应包括火灾报警控制器、消防联动控制器、消防控制室图形显示装置、消防专用电话总机、消防应急广播控制装置、消防应急照明和疏散指示系统控制装置、消防电源监控器等设备或具有相应功能的组合设备。消防控制室内设置的消防控制室图形显示装置应能显示《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录A规定的建筑物内设置的全部消防系统及相关设备的动态信息和《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录B规定的消防安全管理信息,并应为远程监控系统预留接口,同时应具有向远程监控系统传输《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录A和附录B规定的有关信息的功能。

3.4.3 消防控制室应设有用于火灾报警的外线电话。

3.4.4 消防控制室应有相应的竣工图纸、各分系统控制逻辑关系说明、设备使用说明书、系统操作规程、应急预案、值班制度、维护保养制度及值班记录等文件资料。

3.4.5 消防控制室送、回风管的穿墙处应设防火阀。

3.4.6 消防控制室内严禁穿过与消防设施无关的电气线路及管路。

3.4.7 消防控制室不应设置在电磁场干扰较强及其他影响消防控制室设备工作的设备用房附近。

3.4.8 消防控制室内设备的布置应符合下列规定:

1. 设备面盘前的操作距离,单列布置时不应小于1.5m;双列布置时不应小于2m。

2. 在值班人员经常工作的一面,设备面盘至墙的距离不应小于3m。

3. 设备面盘后的维修距离不宜小于1m。

4. 设备面盘的排列长度大于4m时,其两端应设置宽度不小于1m的通道。

5. 与建筑其他弱电系统合用的消防控制室内,消防设备应集中设置,并应与其他设备间有明显间隔。

3.4.9 消防控制室的显示与控制,应符合现行国家标准《消防控制室通用技术要求》(GB 25506—2010)的有关规定。

3.4.10 消防控制室的信息记录、信息传输,应符合现行国家标准《消防控制室通用技术要求》(GB 25506—2010)的有关规定。

15.1.2 火灾探测器的选择和设计要求

15.1.2.1 一般规定

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

5.1.1 火灾探测器的选择应符合下列规定:

1. 对火灾初期有阴燃阶段,产生大量的烟和少量的热,很少或没有火焰辐射的场所,应选择感烟火灾探测器。

2. 对火灾发展迅速,可产生大量热、烟和火焰辐射的场所,可选择感温火灾探测器、感烟火灾探测器、火焰探测器或其组合。

3. 对火灾发展迅速,有强烈的火焰辐射和少量烟、热的场所,应选择火焰探测器。

4. 对火灾初期有阴燃阶段,且需要早期探测的场所,宜增设一氧化碳火灾探测器。

5. 对使用、生产可燃气体或可燃蒸气的场所,应选择可燃气体探测器。

6. 应根据保护场所可能发生火灾的部位和燃烧材料的分析,以及火灾探测器的类型、灵敏度和响应时间等选择相应的火灾探测器,对火灾形成特征不可预料的场所,可根据模拟试验的结果选择火灾探测器。

7. 同一探测区域内设置多个火灾探测器时,可选择具有复合判断火灾功能的火灾探测器和火灾报警控制器。

15.1.2.2 点型火灾探测器的选择

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

5.2.1 对不同高度的房间,可按表 15-2 选择点型火灾探测器。

表 15-2 对不同高度的房间点型火灾探测器的选择

房间高度 h/m	点型感烟火灾探测器	点型感温火灾探测器			火焰探测器
		A1、A2	B	C、D、E、F、G	
$12<h\leqslant20$	不适合	不适合	不适合	不适合	适合
$8<h\leqslant12$	适合	不适合	不适合	不适合	适合
$6<h\leqslant8$	适合	适合	不适合	不适合	适合
$4<h\leqslant6$	适合	适合	适合	不适合	适合
$h\leqslant4$	适合	适合	适合	适合	适合

注:表中 A1、A2、B、C、D、E、F、G 为点型感温探测器的不同类别,其具体参数应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录 C 的规定。

5.2.2 下列场所宜选择点型感烟火灾探测器:

1. 饭店、旅馆、教学楼、办公楼的厅堂、卧室、办公室、商场、列车载客车厢等。
2. 计算机房、通信机房、电影或电视放映室等。
3. 楼梯、走道、电梯机房、车库等。
4. 书库、档案库等。

5.2.3 符合下列条件之一的场所,不宜选择点型离子感烟火灾探测器:

1. 相对湿度经常大于 95%。
2. 气流速度大于 5m/s。
3. 有大量粉尘、水雾滞留。
4. 可能产生腐蚀性气体。
5. 在正常情况下有烟滞留。
6. 产生醇类、醚类、酮类等有机物质。

5.2.4 符合下列条件之一的场所,不宜选择点型光电感烟火灾探测器:

1. 有大量粉尘、水雾滞留。
2. 可能产生蒸气和油雾。
3. 高海拔地区。

4. 在正常情况下有烟滞留。

5.2.5 符合下列条件之一的场所，宜选择点型感温火灾探测器；且应根据使用场所的典型应用温度和最高应用温度选择适当类别的感温火灾探测器：

1. 相对湿度经常大于95%。

2. 可能发生无烟火灾。

3. 有大量粉尘。

4. 吸烟室等在正常情况下有烟或蒸气滞留的场所。

5. 厨房、锅炉房、发电机房、烘干车间等不宜安装感烟火灾探测器的场所。

6. 需要联动熄灭“安全出口”标志灯的安全出口内侧。

7. 其他无人滞留且不适合安装感烟火灾探测器，但发生火灾时需要及时报警的场所。

5.2.6 可能产生阴燃火或发生火灾不及时报警将造成重大损失的场所，不宜选择点型感温火灾探测器；温度在0℃以下的场所，不宜选择定温探测器；温度变化较大的场所，不宜选择具有差温特性的探测器。

5.2.7 符合下列条件之一的场所，宜选择点型火焰探测器或图像型火焰探测器：

1. 火灾时有强烈的火焰辐射。

2. 可能发生液体燃烧等无阴燃阶段的火灾。

3. 需要对火焰做出快速反应。

5.2.8 符合下列条件之一的场所，不宜选择点型火焰探测器和图像型火焰探测器：

1. 在火焰出现前有浓烟扩散。

2. 探测器的镜头易被污染。

3. 探测器的“视线”易被油雾、烟雾、水雾和冰雪遮挡。

4. 探测区域内的可燃物是金属和无机物。

5. 探测器易受阳光、白炽灯等光源直接或间接照射。

5.2.9 探测区域内正常情况下有高温物体的场所，不宜选择单波段红外火焰探测器。

5.2.10 正常情况下有明火作业，探测器易受X射线、弧光和闪电等影响的场所，不宜选择紫外火焰探测器。

5.2.11 下列场所宜选择可燃气体探测器：

1. 使用可燃气体的场所。

2. 燃气站和燃气表房以及存储液化石油气罐的场所。

3. 其他散发可燃气体和可燃蒸气的场所。

5.2.12 在火灾初期产生一氧化碳的下列场所可选择点型一氧化碳火灾探测器：

1. 烟不容易对流或顶棚下方有热屏障的场所。

2. 在棚顶上无法安装其他点型火灾探测器的场所。

3. 需要多信号复合报警的场所。

5.2.13 污物较多且必须安装感烟火灾探测器的场所，应选择间断吸气的点型采样吸气式感烟火灾探测器或具有过滤网和管路自清洗功能的管路采样吸气式感烟火灾探测器。

15.1.2.3 线型火灾探测器的选择

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



5.3.1 无遮挡的大空间或有特殊要求的房间,宜选择线型光束感烟火灾探测器。

5.3.2 符合下列条件之一的场所,不宜选择线型光束感烟火灾探测器:

1. 有大量粉尘、水雾滞留。

2. 可能产生蒸气和油雾。

3. 在正常情况下有烟滞留。

4. 固定探测器的建筑结构由于振动等原因会产生较大位移的场所。

5.3.3 下列场所或部位,宜选择缆式线型感温火灾探测器:

1. 电缆隧道、电缆竖井、电缆夹层、电缆桥架。

2. 不易安装点型探测器的夹层、闷顶。

3. 各种皮带输送装置。

4. 其他环境恶劣不适合点型探测器安装的场所。

5.3.4 下列场所或部位,宜选择线型光纤感温火灾探测器:

1. 除液化石油气外的石油储罐。

2. 需要设置线型感温火灾探测器的易燃易爆场所。

3. 需要监测环境温度的地下空间等场所宜设置具有实时温度监测功能的线型光纤感温火灾探测器。

4. 公路隧道、敷设动力电缆的铁路隧道和城市地铁隧道等。

5.3.5 线型定温火灾探测器的选择,应保证其不动作温度符合设置场所的最高环境温度的要求。

15.1.2.4 吸气式感烟火灾探测器的选择

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



5.4.1 下列场所宜选择吸气式感烟火灾探测器:

1. 具有高速气流的场所。

2. 点型感烟、感温火灾探测器不适宜的大空间、舞台上方、建筑高度超过 12m 或有特殊要求的场所。

3. 低温场所。

4. 需要进行隐蔽探测的场所。

5. 需要进行火灾早期探测的重要场所。

6. 人员不宜进入的场所。

5.4.2 灰尘比较大的场所,不应选择没有过滤网和管路自清洗功能的管路采样式吸气感烟火灾探测器。

15.1.3 消防联动控制设计

15.1.3.1 一般规定

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

4.1.1 消防联动控制器应能按设定的控制逻辑向各相关的受控设备发出联动控制信号,并接收相关设备的联动反馈信号。

4.1.2 消防联动控制器的电压控制输出应采用直流24V,其电源容量应满足受控消防设备同时启动且维持工作的控制容量要求。

4.1.3 各受控设备接口的特性参数应与消防联动控制器发出的联动控制信号相匹配。

4.1.4 消防水泵、防烟和排烟风机的控制设备,除应采用联动控制方式外,还应在消防控制室设置手动直接控制装置。

4.1.5 启动电流较大的消防设备宜分时启动。

4.1.6 需要火灾自动报警系统联动控制的消防设备,其联动触发信号应采用两个独立的报警触发装置报警信号的“与”逻辑组合。

15.1.3.2 自动喷水灭火系统的联动控制设计

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

4.2.1 湿式系统和干式系统的联动控制设计,应符合下列规定:

1. 联动控制方式,应由湿式报警阀压力开关的动作信号作为触发信号,直接控制启动喷淋消防泵,联动控制不应受消防联动控制器处于自动或手动状态影响。

2. 手动控制方式,应将喷淋消防泵控制箱(柜)的启动、停止按钮用专用线路直接连接至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,直接手动控制喷淋消防泵的启动、停止。

3. 水流指示器、信号阀、压力开关、喷淋消防泵的启动和停止的动作信号应反馈至消防联动控制器。

4.2.2 预作用系统的联动控制设计,应符合下列规定:

1. 联动控制方式,应由同一报警区域内两只及以上独立的感烟火灾探测器或一只感烟火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号,作为预作用阀组开启的联动触发信号。由消防联动控制器控制预作用阀组的开启,使系统转变为湿式系统;当系统设有快速排气装置时,应联动控制排气阀前的电动阀的开启。湿式系统的联动控制设计应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第4.2.1条的规定。

2. 手动控制方式,应将喷淋消防泵控制箱(柜)的启动和停止按钮、预作用阀组和快速排气阀入口前的电动阀的启动和停止按钮,用专用线路直接连接至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,直接手动控制喷淋消防泵的启动、停止及预作用阀组和电动阀的开启。

3. 水流指示器、信号阀、压力开关、喷淋消防泵的启动和停止的动作信号,有压气体管道气压状态信号和快速排气阀入口前电动阀的动作信号应反馈至消防联动控制器。

4.2.3 雨淋系统的联动控制设计,应符合下列规定:

1. 联动控制方式,应由同一报警区域内两只及以上独立的感温火灾探测器或一只感温火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号,作为雨淋阀组开启的联动触发信号。应由消防联动控制器控制雨淋阀组的开启。

2. 手动控制方式,应将雨淋消防泵控制箱(柜)的启动和停止按钮、雨淋阀组的启动和停止按钮,用专用线路直接连接至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,直接手动控制雨淋消防泵的启动、停止及雨淋阀组的开启。

3. 水流指乐器、压力开关、雨淋阀组、雨淋消防泵的启动和停止的动作信号应反馈至消防联动控制器。

4.2.4 自动控制的水幕系统的联动控制设计,应符合下列规定:

1. 联动控制方式,当自动控制的水幕系统用于防火卷帘的保护时,应由防火卷帘下落到楼板面的动作信号与本报警区域内任一火灾探测器或手动火灾报警按钮的报警信号作为水幕阀组启动的联动触发信号,并应由消防联动控制器联动控制水幕系统相关控制阀组的启动;仅用水幕系统作为防火分隔时,应由该报警区域内两只独立的感温火灾探测器的火灾报警信号作为水幕阀组启动的联动触发信号,并应由消防联动控制器联动控制水幕系统相关控制阀组的启动。

2. 手动控制方式,应将水幕系统相关控制阀组和消防泵控制箱(柜)的启动、停止按钮用专用线路直接连接至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,并应直接手动控制消防泵的启动、停止及水幕系统相关控制阀组的开启。

3. 压力开关、水幕系统相关控制阀组和消防泵的启动、停止的动作信号,应反馈至消防联动控制器。

15.1.3.3 消火栓系统的联动控制设计

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

规范引用

4.3.1 联动控制方式,应由消火栓系统出水干管上设置的低压压力开关、高位消防水箱出水管上设置的流量开关或报警阀压力开关等信号作为触发信号,直接控制启动消火栓泵,联动控制不应受消防联动控制器处于自动或手动状态影响。当设置消火栓按钮时,消火栓按钮的动作信号应作为报警信号及启动消火栓泵的联动触发信号,由消防联动控制器联动控制消火栓泵的启动。

4.3.2 手动控制方式,应将消火栓泵控制箱(柜)的启动、停止按钮用专用线路直接连接至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,并应直接手动控制消火栓泵的启动、停止。

4.3.3 消火栓泵的动作信号应反馈至消防联动控制器。

15.1.3.4 气体灭火系统、泡沫灭火系统的联动控制设计

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

规范引用

4.4.1 气体灭火系统、泡沫灭火系统应分别由专用的气体灭火控制器、泡沫灭火控制器控制。

4.4.2 气体灭火控制器、泡沫灭火控制器直接连接火灾探测器时,气体灭火系统、泡沫灭火系统的自动控制方式应符合下列规定:

1. 应由同一防护区域内两只独立的火灾探测器的报警信号、一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号或防护区外的紧急启动信号，作为系统的联动触发信号，探测器的组合宜采用感烟火灾探测器和感温火灾探测器，各类探测器应按《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第 6.2 节的规定分别计算保护面积。

2. 气体灭火控制器、泡沫灭火控制器在接收到满足联动逻辑关系的首个联动触发信号后，应启动设置在该防护区内的火灾声光警报器，且联动触发信号应为任一防护区域内设置的感烟火灾探测器、其他类型火灾探测器或手动火灾报警按钮的首次报警信号；在接收到第二个联动触发信号后，应发出联动控制信号，且联动触发信号应为同一防护区域内与首次报警的火灾探测器或手动火灾报警按钮相邻的感温火灾探测器、火焰探测器或手动火灾报警按钮的报警信号。

3. 联动控制信号应包括下列内容：

1)关闭防护区域的送(排)风机及送(排)风阀门；

2)停止通风和空气调节系统及关闭设置在该防护区域的电动防火阀；

3)联动控制防护区域开口封闭装置的启动，包括关闭防护区域的门、窗；

4)启动气体灭火装置、泡沫灭火装置、气体灭火控制器、泡沫灭火控制器，可设定不大于 30s 的延迟喷射时间。

4. 平时无人工作的防护区，可设置为无延迟的喷射，应在接收到满足联动逻辑关系的首个联动触发信号后按本条第 3 款规定执行除启动气体灭火装置、泡沫灭火装置外的联动控制；在接收到第二个联动触发信号后，应启动气体灭火装置、泡沫灭火装置。

5. 气体灭火防护区出口外上方应设置表示气体喷洒的火灾声光警报器，指示气体释放的声信号应与该保护对象中设置的火灾声警报器的声信号有明显区别。启动气体灭火装置、泡沫灭火装置的同时，应启动设置在防护区入口处表示气体喷洒的火灾声光警报器；组合分配系统应首先开启相应防护区域的选择阀，然后启动气体灭火装置、泡沫灭火装置。

4.4.3 气体灭火控制器、泡沫灭火控制器不直接连接火灾探测器时，气体灭火系统、泡沫灭火系统的自动控制方式应符合下列规定：

1. 气体灭火系统、泡沫灭火系统的联动触发信号应由火灾报警控制器或消防联动控制器发出。

2. 气体灭火系统、泡沫灭火系统的联动触发信号和联动控制均应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第 4.4.2 条的规定。

4.4.4 气体灭火系统、泡沫灭火系统的手动控制方式应符合下列规定：

1. 在防护区疏散出口的门外应设置气体灭火装置、泡沫灭火装置的手动启动和停止按钮，手动启动按钮按下时，气体灭火控制器、泡沫灭火控制器应执行符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第 4.4.2 条第 3 款和第 5 款规定的联动操作；手动停止按钮按下时，气体灭火控制器、泡沫灭火控制器应停止正在执行的联动操作。

2. 气体灭火控制器、泡沫灭火控制器上应设置对应于不同防护区的手动启动和停止按钮，手动启动按钮按下时，气体灭火控制器、泡沫灭火控制器应执行符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第 4.4.2 条第 3 款和第 5 款规定的联动操作；手动停止按钮按下时，气体灭火控制器、泡沫灭火控制器应停止正在执行的联动操作。

4.4.5 气体灭火装置、泡沫灭火装置启动及喷放各阶段的联动控制及系统的反馈信号，应反馈至消防联动控制器。系统的联动反馈信号应包括下列内容：

1. 气体灭火控制器、泡沫灭火控制器直接连接的火灾探测器的报警信号。

2. 选择阀的动作信号。

3. 压力开关的动作信号。

4.4.6 在防护区域内设有手动与自动控制转换装置的系统,其手动或自动控制方式的工作状态应在防护区内、外的手动和自动控制状态显示装置上显示,该状态信号应反馈至消防联动控制器。

15.1.3.5 防烟排烟系统的联动控制设计

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

规范引用

4.5.1 防烟系统的联动控制方式应符合下列规定:

1. 应由加压送风口所在防火分区内的两只独立的火灾探测器或一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号,作为送风口开启和加压送风机启动的联动触发信号,并应由消防联动控制器联动控制相关层前室等需要加压送风场所的加压送风口开启和加压送风机启动。

2. 应由同一防烟分区内且位于电动挡烟垂壁附近的两只独立的感烟火灾探测器的报警信号,作为电动挡烟垂壁降落的联动触发信号,并应由消防联动控制器联动控制电动挡烟垂壁的降落。

4.5.2 排烟系统的联动控制方式应符合下列规定:

1. 应由同一防烟分区内的两只独立的火灾探测器的报警信号,作为排烟口、排烟窗或排烟阀开启的联动触发信号,并应由消防联动控制器联动控制排烟口、排烟窗或排烟阀的开启,同时停止该防烟分区的空气调节系统。

2. 应由排烟口、排烟窗或排烟阀开启的动作信号,作为排烟风机启动的联动触发信号,并应由消防联动控制器联动控制排烟风机的启动。

4.5.3 防烟系统、排烟系统的手动控制方式,应能在消防控制室内的消防联动控制器上手动控制送风口、电动挡烟垂壁、排烟口、排烟窗、排烟阀的开启或关闭及防烟风机、排烟风机等设备的启动或停止,防烟、排烟风机的启动、停止按钮应采用专用线路直接连接至设置在消防控制室内的消防联动控制器的手动控制盘,并应直接手动控制防烟、排烟风机的启动、停止。

4.5.4 送风口、排烟口、排烟窗或排烟阀开启和关闭的动作信号,防烟、排烟风机启动和停止及电动防火阀关闭的动作信号,均应反馈至消防联动控制器。

4.5.5 排烟风机入口处的总管上设置的280℃排烟防火阀在关闭后应直接联动控制风机停止,排烟防火阀及风机的动作信号应反馈至消防联动控制器。

15.1.3.6 防火门及防火卷帘系统的联动控制设计

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

规范引用

4.6.1 防火门系统的联动控制设计,应符合下列规定:

1. 应由常开防火门所在防火分区内的两只独立的火灾探测器或一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号,作为常开防火门关闭的联动触发信号,联动触发信号应由火灾报警控制器或消防联动控制器发出,并应由消防联动控制器或防火门监控器联动控制

防火门关闭。

2. 疏散通道上各防火门的开启、关闭及故障状态信号应反馈至防火门监控器。

4.6.2 防火卷帘的升降应由防火卷帘控制器控制。

4.6.3 疏散通道上设置的防火卷帘的联动控制设计，应符合下列规定：

1. 联动控制方式，防火分区内任两只独立的感烟火灾探测器或任一只专门用于联动防火卷帘的感烟火灾探测器的报警信号应联动控制防火卷帘下降至距楼板面 1.8m 处；任一只专门用于联动防火卷帘的感温火灾探测器的报警信号应联动控制防火卷帘下降到楼板面；在卷帘的任一侧距卷帘纵深 0.5～5m 内应设置不少于 2 只专门用于联动防火卷帘的感温火灾探测器。

2. 手动控制方式，应由防火卷帘两侧设置的手动控制按钮控制防火卷帘的升降。

4.6.4 非疏散通道上设置的防火卷帘的联动控制设计，应符合下列规定：

1. 联动控制方式，应由防火卷帘所在防火分区内任两只独立的火灾探测器的报警信号，作为防火卷帘下降的联动触发信号，并应联动控制防火卷帘直接下降到楼板面。

2. 手动控制方式，应由防火卷帘两侧设置的手动控制按钮控制防火卷帘的升降，并应能在消防控制室内的消防联动控制器上手动控制防火卷帘的降落。

4.6.5 防火卷帘下降至距楼板面 1.8m 处、下降到楼板面的动作信号和防火卷帘控制器直接连接的感烟、感温火灾探测器的报警信号，应反馈至消防联动控制器。

15.1.3.7 电梯的联动控制设计

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

规范引用

4.7.1 消防联动控制器应具有发出联动控制信号强制所有电梯停于首层或电梯转换层的功能。

4.7.2 电梯运行状态信息和停于首层或转换层的反馈信号，应传送给消防控制室显示，轿厢内应设置能直接与消防控制室通话的专用电话。

15.1.3.8 火灾警报和消防应急广播系统的联动控制设计

《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

规范引用

4.8.1 火灾自动报警系统应设置火灾声光警报器，并应在确认火灾后启动建筑内的所有火灾声光警报器。

4.8.2 未设置消防联动控制器的火灾自动报警系统，火灾声光警报器应由火灾报警控制器控制；设置消防联动控制器的火灾自动报警系统，火灾声光警报器应由火灾报警控制器或消防联动控制器控制。

4.8.3 公共场所宜设置具有同一种火灾变调声的火灾声警报器；具有多个报警区域的保护对象，宜选用带有语音提示的火灾声警报器；学校、工厂等各类日常使用电铃的场所，不应使用警铃作为火灾声警报器。

4.8.4 火灾声警报器设置带有语音提示功能时，应同时设置语音同步器。

4.8.5 同一建筑内设置多个火灾声警报器时，火灾自动报警系统应能同时启动和停止所有火灾声警报器工作。

4.8.6 火灾声警报器单次发出火灾警报时间宜为 8～20s，同时设有消防应急广播时，

火灾声警报应与消防应急广播交替循环播放。

4.8.7 集中报警系统和控制中心报警系统应设置消防应急广播。

4.8.8 消防应急广播系统的联动控制信号应由消防联动控制器发出。当确认火灾后,应同时向全楼进行广播。

4.8.9 消防应急广播的单次语音播放时间宜为10～30s,应与火灾声警报器分时交替工作,可采取1次火灾声警报器播放、1次或2次消防应急广播播放的交替工作方式循环播放。

4.8.10 在消防控制室应能手动或按预设控制逻辑联动控制选择广播分区、启动或停止应急广播系统,并应能监听消防应急广播。在通过传声器进行应急广播时,应自动对广播内容进行录音。

4.8.11 消防控制室内应能显示消防应急广播的广播分区的工作状态。

4.8.12 消防应急广播与普通广播或背景音乐广播合用时,应具有强制切入消防应急广播的功能。

15.1.3.9 消防应急照明和疏散指示系统的联动控制设计

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

4.9.1 消防应急照明和疏散指示系统的联动控制设计,应符合下列规定:

1. 集中控制型消防应急照明和疏散指示系统,应由火灾报警控制器或消防联动控制器启动应急照明控制器实现。

2. 集中电源非集中控制型消防应急照明和疏散指示系统,应由消防联动控制器联动应急照明集中电源和应急照明分配电装置实现。

3. 自带电源非集中控制型消防应急照明和疏散指示系统,应由消防联动控制器联动消防应急照明配电箱实现。

4.9.2 当确认火灾后,由发生火灾的报警区域开始,顺序启动全楼疏散通道的消防应急照明和疏散指示系统,系统全部投入应急状态的启动时间不应大于5s。

15.1.3.10 相关联动控制设计

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

4.10.1 消防联动控制器应具有切断火灾区域及相关区域的非消防电源的功能,当需要切断正常照明时,宜在自动喷淋系统、消火栓系统动作前切断。

4.10.2 消防联动控制器应具有自动打开涉及疏散的电动栅杆等的功能,宜开启相关区域安全技术防范系统的摄像机监视火灾现场。

4.10.3 消防联动控制器应具有打开疏散通道上由门禁系统控制的门和庭院电动大门的功能,并应具有打开停车场出入口挡杆的功能。

15.1.4 漏电火灾报警系统

规范引用 《高层民用建筑设计防火规范》(2005年版)(GB 50045—1995)

9.5 漏电火灾报警系统

9.5.1 高层建筑内火灾危险性大、人员密集等场所宜设置漏电火灾报警系统。

9.5.2 漏电火灾报警系统应具有下列功能：

9.5.2.1 探测漏电电流、过电流等信号，发出声光信号报警，准确报出故障线路地址，监视故障点的变化。

9.5.2.2 储存各种故障和操作试验信号，信号存储时间不应少于12个月。

9.5.2.3 切断漏电线路上的电源，并显示其状态。

9.5.2.4 显示系统电源状态。

15.1.5 系统设备的设置

15.1.5.1 火灾报警控制器和消防联动控制器的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

6.1.1 火灾报警控制器和消防联动控制器，应设置在消防控制室内或有人值班的房间和场所。

6.1.2 火灾报警控制器和消防联动控制器等在消防控制室内的布置，应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第3.4.8条的规定。

6.1.3 火灾报警控制器和消防联动控制器安装在墙上时，其主显示屏高度宜为1.5～1.8m，其靠近门轴的侧面距墙不应小于0.5m，正面操作距离不应小于1.2m。

6.1.4 集中报警系统和控制中心报警系统中的区域火灾报警控制器在满足下列条件时，可设置在无人值班的场所：

1. 本区域内无需要手动控制的消防联动设备。

2. 本火灾报警控制器的所有信息在集中火灾报警控制器上均有显示，且能接收起集中控制功能的火灾报警控制器的联动控制信号，并自动启动相应的消防设备。

3. 设置的场所只有值班人员可以进入。

15.1.5.2 火灾探测器的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)

6.2.1 探测器的具体设置部位应按《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录D采用。

6.2.2 点型火灾探测器的设置应符合下列规定：

1. 探测区域的每个房间应至少设置一只火灾探测器。

2. 感烟火灾探测器和A1、A2、B型感温火灾探测器的保护面积和保护半径，应按表15-3确定；C、D、E、F、G型感温火灾探测器的保护面积和保护半径，应根据生产企业设计说明

书确定,但不应超过表 15-3 的规定。

表 15-3 感烟火灾探测器和 A1、A2、B 型感温火灾探测器的保护面积和保护半径

火灾探测器的种类	地面面积 S/m^2	房间高度 h/m	一只探测器的保护面积 A 和保护半径 R					
			屋顶坡度 θ					
			$\theta\leqslant15°$		$15°<\theta\leqslant30°$		$\theta>30°$	
			A/m^2	R/m	A/m^2	R/m	A/m^2	R/m
感烟探测器	$S\leqslant80$	$h\leqslant12$	80	6.7	80	7.2	80	8.0
	$S>80$	$6<h\leqslant12$	80	6.7	100	8.0	120	9.9
		$h\leqslant6$	60	5.8	80	7.2	100	9.0
感温探测器	$S\leqslant30$	$h\leqslant8$	30	4.4	30	4.9	30	5.5
	$S>30$	$h\leqslant8$	20	3.6	30	4.9	40	6.3

注:建筑高度不超过 14m 的封闭探测空间,且火灾初期会产生大量的烟时,可设置点型感烟火灾探测器。

3. 感烟火灾探测器、感温火灾探测器的安装间距,应根据探测器的保护面积 A 和保护半径 R 确定,并不应超过《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录 E 探测器安装间距的极限曲线 $D_1\sim D_{11}$(含 D_3')规定的范围。

4. 一个探测区域内所需设置的探测器数量,不应小于式(15-1)的计算值:

$$N=\frac{S}{K\cdot A} \tag{15-1}$$

式中 N——探测器数量(只),N 应取整数;

S——该探测区域面积(m^2);

K——修正系数,容纳人数超过 10000 人的公共场所宜取 0.7～0.8,容纳人数为 2000～10000 人的公共场所宜取 0.8～0.9,容纳人数为 500～2000 人的公共场所宜取 0.9～1.0,其他场所可取 1.0;

A——探测器的保护面积(m^2)。

6.2.3 在有梁的顶棚上设置点型感烟火灾探测器、感温火灾探测器时,应符合下列规定:

1. 当梁突出顶棚的高度小于 200mm 时,可不计梁对探测器保护面积的影响。

2. 当梁突出顶棚的高度为 200～600mm 时,应按《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)附录 F、附录 G 确定梁对探测器保护面积的影响和一只探测器能够保护的梁间区域的数量。

3. 当梁突出顶棚的高度超过 600mm 时,被梁隔断的每个梁间区域应至少设置一只探测器。

4. 当被梁隔断的区域面积超过一只探测器的保护面积时,被隔断的区域应按《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第 6.2.2 条第 4 款规定计算探测器的设置数量。

5. 当梁间净距小于 1m 时,可不计梁对探测器保护面积的影响。

6.2.4 在宽度小于 3m 的内走道顶棚上设置点型探测器时,宜居中布置。感温火灾探测器的安装间距不应超过 10m;感烟火灾探测器的安装间距不应超过 15m;探测器至端墙的距离不应大于探测器安装间距的 1/2。

6.2.5 点型探测器至墙壁、梁边的水平距离不应小于 0.5m。

6.2.6 点型探测器周围0.5m内不应有遮挡物。

6.2.7 房间被书架、设备或隔断等分隔，其顶部至顶棚或梁的距离小于房间净高的5%时，每个被隔开的部分应至少安装一只点型探测器。

6.2.8 点型探测器至空调送风口边的水平距离不应小于1.5m，并宜接近回风口安装。探测器至多孔送风顶棚孔口的水平距离不应小于0.5m。

6.2.9 当屋顶有热屏障时，点型感烟火灾探测器下表面至顶棚或屋顶的距离，应符合表15-4的规定。

表15-4 点型感烟火灾探测器下表面至顶棚或屋顶的距离

探测器的安装高度 h/m	感烟探测器下表面至顶棚或屋顶的距离 d/mm					
	顶棚或屋顶坡度 θ					
	$\theta\leqslant15°$		$15°<\theta\leqslant30°$		$\theta>30°$	
	最小	最大	最小	最大	最小	最大
$h\leqslant6$	30	200	200	300	300	500
$6<h\leqslant8$	70	250	250	400	400	600
$8<h\leqslant10$	100	300	300	500	500	700
$10<h\leqslant12$	150	350	350	600	600	800

6.2.10 锯齿形屋顶和坡度大于15°的人字形屋顶，应在每个屋脊处设置一排点型探测器，探测器下表面至屋顶最高处的距离，应符合《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)第6.2.9条的规定。

6.2.11 点型探测器宜水平安装。当倾斜安装时，倾斜角不应大于45°。

6.2.12 在电梯井、升降机井设置点型探测器时，其位置宜在井道上方的机房顶棚上。

6.2.13 一氧化碳火灾探测器可设置在气体能够扩散到的任何部位

6.2.14 火焰探测器和图像型火灾探测器的设置，应符合下列规定：

1. 应计及探测器的探测视角及最大探测距离，可通过选择探测距离长、火灾报警响应时间短的火焰探测器，提高保护面积要求和报警时间要求。

2. 探测器的探测视角内不应存在遮挡物。

3. 应避免光源直接照射在探测器的探测窗口。

4. 单波段的火焰探测器不应设置在平时有阳光、白炽灯等光源直接或间接照射的场所。

6.2.15 线型光束感烟火灾探测器的设置应符合下列规定：

1. 探测器的光束轴线至顶棚的垂直距离宜为0.3～1.0m，距地高度不宜超过20m。

2. 相邻两组探测器的水平距离不应大于14m，探测器至侧墙水平距离不应大于7m，且不应小于0.5m，探测器的发射器和接收器之间的距离不宜超过100m。

3. 探测器应设置在固定结构上。

4. 探测器的设置应保证其接收端避开日光和人工光源直接照射。

5. 选择反射式探测器时，应保证在反射板与探测器间任何部位进行模拟试验时，探测器均能正确响应。

6.2.16 线型感温火灾探测器的设置应符合下列规定：

1. 探测器在保护电缆、堆垛等类似保护对象时，应采用接触式布置；在各种皮带输送装

置上设置时,宜设置在装置的过热点附近。

2. 设置在顶棚下方的线型感温火灾探测器,至顶棚的距离宜为 0.1m。探测器的保护半径应符合点型感温火灾探测器的保护半径要求;探测器至墙壁的距离宜为 1～1.5m。

3. 光栅光纤感温火灾探测器每个光栅的保护面积和保护半径,应符合点型感温火灾探测器的保护面积和保护半径要求。

4. 设置线型感温火灾探测器的场所有联动要求时,宜采用两只不同火灾探测器的报警信号组合。

5. 与线型感温火灾探测器连接的模块不宜设置在长期潮湿或温度变化较大的场所。

6.2.17 管路采样式吸气感烟火灾探测器的设置,应符合下列规定:

1. 非高灵敏型探测器的采样管网安装高度不应超过 16m;高灵敏型探测器的采样管网安装高度可超过 16m;采样管网安装高度超过 16m 时,灵敏度可调的探测器应设置为高灵敏度,且应减小采样管长度和采样孔数量。

2. 探测器的每个采样孔的保护面积、保护半径,应符合点型感烟火灾探测器的保护面积、保护半径的要求。

3. 一个探测单元的采样管总长不宜超过 200m,单管长度不宜超过 100m,同一根采样管不应穿越防火分区。采样孔总数不宜超过 100 个,单管上的采样孔数量不宜超过 25 个。

4. 当采样管道采用毛细管布置方式时,毛细管长度不宜超过 4m。

5. 吸气管路和采样孔应有明显的火灾探测器标识。

6. 有过梁、空间支架的建筑中,采样管路应固定在过梁、空间支架上。

7. 当采样管道布置形式为垂直采样时,每 2℃温差间隔或 3m 间隔(取最小者)应设置一个采样孔,采样孔不应背对气流方向。

8. 采样管网应按经过确认的设计软件或方法进行设计。

9. 探测器的火灾报警信号、故障信号等信息应传给火灾报警控制器,涉及消防联动控制时,探测器的火灾报警信号还应传给消防联动控制器。

6.2.18 感烟火灾探测器在格栅吊顶场所的设置,应符合下列规定:

1. 镂空面积与总面积的比例不大于 15%时,探测器应设置在吊顶下方。

2. 镂空面积与总面积的比例大于 30%时,探测器应设置在吊顶上方。

3. 镂空面积与总面积的比例为 15%～30%时,探测器的设置部位应根据实际试验结果确定。

4. 探测器设置在吊顶上方且火警确认灯无法观察时,应在吊顶下方设置火警确认灯。

5. 地铁站台等有活塞风影响的场所,镂空面积与总面积的比例为 30%～70%时,探测器宜同时设置在吊顶上方和下方。

6.2.19 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)未涉及的其他火灾探测器的设置应按企业提供的设计手册或使用说明书进行设置,必要时可通过模拟保护对象火灾场景等方式对探测器的设置情况进行验证。

15.1.5.3 手动火灾报警按钮的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



6.3.1 每个防火分区应至少设置一只手动火灾报警按钮。从一个防火分区内的任何

位置到最邻近的手动火灾报警按钮的步行距离不应大于30m。手动火灾报警按钮宜设置在疏散通道或出入口处。列车上设置的手动火灾报警按钮，应设置在每节车厢的出入口和中间部位。

6.3.2 手动火灾报警按钮应设置在明显和便于操作的部位。当采用壁挂方式安装时，其底边距地高度宜为1.3～1.5m，且应有明显的标志。

15.1.5.4 区域显示器的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



6.4.1 每个报警区域宜设置一台区域显示器(火灾显示盘)；宾馆、饭店等场所应在每个报警区域设置一台区域显示器。当一个报警区域包括多个楼层时，宜在每个楼层设置一台仅显示本楼层的区域显示器。

6.4.2 区域显示器应设置在出入口等明显和便于操作的部位。当采用壁挂方式安装时，其底边距地高度宜为1.3～1.5m。

15.1.5.5 火灾警报器的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



6.5.1 火灾光警报器应设置在每个楼层的楼梯口、消防电梯前室、建筑内部拐角等处的明显部位，且不宜与安全出口指示标志灯具设置在同一面墙上。

6.5.2 每个报警区域内应均匀设置火灾警报器，其声压级不应小于60dB；在环境噪声大于60dB的场所，其声压级应高于背景噪声15dB。

6.5.3 火灾警报器采用壁挂方式安装时，其底边距地面高度应大于2.2m。

15.1.5.6 消防应急广播的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



6.6.1 消防应急广播扬声器的设置，应符合下列规定：

1. 民用建筑内扬声器应设置在走道和大厅等公共场所。每个扬声器的额定功率不应小于3W，其数量应能保证从一个防火分区内的任何部位到最近一个扬声器的直线距离不大于25m，走道末端距最近的扬声器距离不应大于12.5m。

2. 在环境噪声大于60dB的场所设置的扬声器，在其播放范围内最远点的播放声压级应高于背景噪声15dB。

3. 客房设置专用扬声器时，其功率不宜小于1W。

6.6.2 壁挂扬声器的底边距地面高度应大于2.2m。

15.1.5.7 消防专用电话的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



6.7.1 消防专用电话网络应为独立的消防通信系统。

6.7.2 消防控制室应设置消防专用电话总机。

6.7.3 多线制消防专用电话系统中的每个电话分机应与总机单独连接。

6.7.4 电话分机或电话插孔的设置,应符合下列规定:

1. 消防水泵房、发电机房、配变电室、计算机网络机房、主要通风和空调机房、防排烟机房、灭火控制系统操作装置处或控制室、企业消防站、消防值班室、总调度室、消防电梯机房及其他与消防联动控制有关的且经常有人值班的机房应设置消防专用电话分机。消防专用电话分机应固定安装在明显且便于使用的部位,并应有区别于普通电话的标识。

2. 设有手动火灾报警按钮或消火栓按钮等处,宜设置电话插孔,并宜选择带有电话插孔的手动火灾报警按钮。

3. 各避难层应每隔 20m 设置一个消防专用电话分机或电话插孔。

4. 电话插孔在墙上安装时,其底边距地面高度宜为 1.3～1.5m。

6.7.5 消防控制室、消防值班室或企业消防站等处,应设置可直接报警的外线电话。

15.1.5.8 模块的设置

规范引用 **《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)**

6.8.1 每个报警区域内的模块宜相对集中设置在本报警区域内的金属模块箱中。

6.8.2 模块严禁设置在配电(控制)柜(箱)内。

6.8.3 本报警区域内的模块不应控制其他报警区域的设备。

6.8.4 未集中设置的模块附近应有尺寸不小于 100mm×100mm 的标识。

15.1.5.9 消防控制室图形显示装置的设置

规范引用 **《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)**

6.9.1 消防控制室图形显示装置应设置在消防控制室内,并应符合火灾报警控制器的安装设置要求。

6.9.2 消防控制室图形显示装置与火灾报警控制器、消防联动控制器、电气火灾监控器、可燃气体报警控制器等消防设备之间,应采用专用线路连接。

15.1.5.10 火灾报警传输设备或用户信息传输装置的设置

规范引用 **《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)**

6.10.1 火灾报警传输设备或用户信息传输装置,应设置在消防控制室内;未设置消防控制室时,应设置在火灾报警控制器附近的明显部位。

6.10.2 火灾报警传输设备或用户信息传输装置与火灾报警控制器、消防联动控制器等设备之间,应采用专用线路连接。

6.10.3 火灾报警传输设备或用户信息传输装置的设置,应保证有足够的操作和检修间距。

6.10.4 火灾报警传输设备或用户信息传输装置的手动报警装置,应设置在便于操作的明显部位。

15.1.5.11 防火门监控器的设置

规范引用 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116—2013)



6.11.1 防火门监控器应设置在消防控制室内,未设置消防控制室时,应设置在有人值班的场所。

6.11.2 电动开门器的手动控制按钮应设置在防火门内侧墙面上,距门不宜超过0.5m,底边距地面高度宜为0.9～1.3m。

6.11.3 防火门监控器的设置应符合火灾报警控制器的安装设置要求。

15.2 建筑设备监控系统的设计要求

15.2.1 概述

15.2.1.1 一般规定

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



18.1.1 本章适用于建筑物(群)所属建筑设备监控系统(BAS)的设计。BAS可对下列子系统进行设备运行和建筑节能的监测与控制:

1. 冷冻水及冷却水系统;
2. 热交换系统;
3. 采暖通风及空气调节系统;
4. 给水与排水系统;
5. 供配电系统;
6. 公共照明系统;
7. 电梯和自动扶梯系统。

18.1.2 建筑设备监控系统设计应符合下列规定:

1. 建筑设备监控系统应支持开放式系统技术,宜建立分布式控制网络;
2. 应选择先进、成熟和实用的技术和设备,符合技术发展的方向,并容易扩展、维护和升级;
3. 选择的第三方子系统或产品应具备开放性和互操作性;
4. 应从硬件和软件两方面充分确定系统的可集成性;
5. 应采取必要的防范措施,确保系统和信息的安全性;
6. 应根据建筑的功能、重要性等确定采取冗余、容错等技术。

18.1.3 设计建筑设备监控系统时,应根据监控功能需求设置监控点。监控系统的服务功能应与管理模式相适应。

18.1.4 建筑设备监控系统规模,可按实时数据库的硬件点和软件点点数区分,宜符合表15-5的规定。

表 15-5 建筑设备监控系统规模

系统规模	实时数据库点数
小型系统	999 及以下
中型系统	1000～2999
大型系统	3000 及以上

18.1.5 建筑设备监控系统应具备系统自诊断和故障报警功能。

18.1.6 当工程有智能建筑集成要求,且主管部门允许时,BAS 应提供与火灾自动报警系统(FAS)及安全防范系统(SAS)的通信接口,构成建筑设备管理系统(BMS)。

15.2.1.2 建筑设备监控系统网络结构

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

18.2.1 建筑设备监控系统宜采用分布式系统和多层次的网络结构,并应根据系统的规模、功能要求及选用产品的特点,采用单层、两层或三层的网络结构,但不同网络结构均应满足分布式系统集中监视操作和分散采集控制(分散危险)的原则。

大型系统宜采用由管理、控制、现场设备三个网络层构成的三层网络结构,其网络结构应符合图 15-1 的规定。

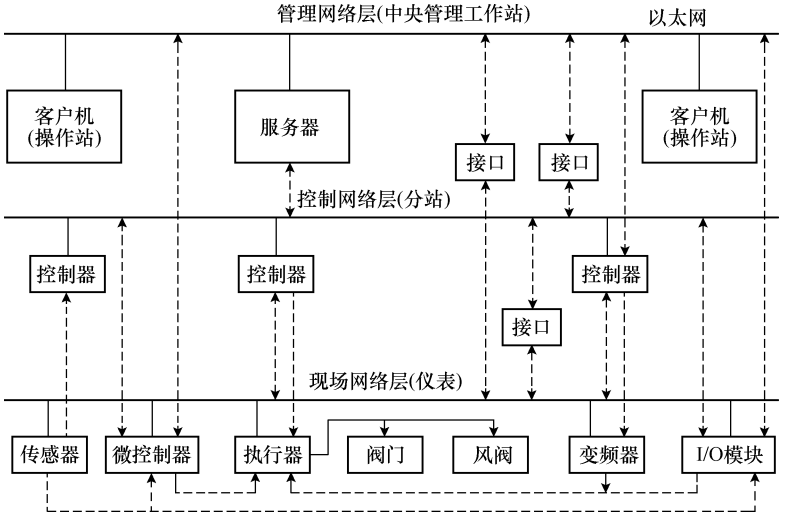


图 15-1 建筑设备监控系统三层网络系统结构

中型系统宜采用两层或三层的网络结构,其中两层网络结构宜由管理层和现场设备层构成。

小型系统宜采用以现场设备层为骨干构成的单层网络结构或两层网络结构。各网络层应符合下列规定:

1. 管理网络层应完成系统集中监控和各种系统的集成。

2. 控制网络层应完成建筑设备的自动控制。

3. 现场设备网络层应完成末端设备控制和现场仪表设备的信息采集和处理。

18.2.2 用于网络互联的通信接口设备,应根据各层不同情况,以 ISO/OSI 开放式系统互联模型为参照体系,合理选择中继器、网桥、路由器、网关等互联通信接口设备。

15.2.1.3 管理网络层(中央管理工作站)

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



18.3.1 管理网络层应具有下列功能:

1. 监控系统的运行参数。

2. 检测可控的子系统对控制命令的响应情况。

3. 显示和记录各种测量数据、运行状态、故障报警等信息。

4. 数据报表和打印。

18.3.2 管理网络层设计应符合下列规定:

1. 服务器与工作站之间宜采用客户机/服务器(Client/Server)或浏览器/服务器(Browser/Server)的体系结构。当需要远程监控时,客户机/服务器的体系结构应支持 Web 服务器。

2. 应采用符合 IEEE802.3 的以太网。

3. 宜采用 TCP/IP 通信协议。

4. 服务器应为客户机(操作站)提供数据库访问,并宜采集控制器、微控制器、传感器、执行器、阀门、风阀、变频器数据,采集过程历史数据,提供服务器配置数据,存储用户定义数据的应用信息结构,生成报警和事件记录、趋势图、报表,提供系统状态信息。

5. 实时数据库的监控点数(包括软件点)应留有余量,不宜少于 10%。

6. 客户机(操作站)软件根据需要可安装在多台 PC 上,宜建立多台客户机(操作站)并行工作的局域网系统。

7. 客户机(操作站)软件可以和服务器安装在一台 PC 上。

8. 管理网络层应具有与互联网(Internet)联网能力,提供互联网用户通信接口技术,用户可通过 Web 浏览器查看建筑设备监控系统的各种数据或进行远程操作。

9. 当管理网络层的服务器和(或)操作站故障或停止工作时,不应影响控制器、微控制器和现场仪表设备运行,控制网络层、现场网络层通信也不应因此而中断。

18.3.3 当不同地理位置上分布有多组相同种类的建筑设备监控系统时,宜采用 DSA(Distributed Server Architecture)分布式服务器结构。每个建筑设备监控系统服务器管理的数据库应互相透明,从不同的建筑设备监控系统的客户机(操作站)均可访问其他建筑设备监控系统的服务器,与该系统的数据库进行数据交换,使这些独立的服务器连接成为逻辑上的一个整体系统。

18.3.4 管理网络层的配置应符合下列规定:

1. 宜采用 10BASE-T/100BASE-T 方式,选用双绞线作为传输介质。

2. 服务器与客户机(操作站)之间的连接宜选用交换式集线器。

3. 管理网络层的服务器和至少一个客户机(操作站)应位于监控中心内。

4. 在管理体制允许,建筑设备监控系统(BAS)、火灾自动报警系统(FAS)和安全防范系统(SAS)共用一个控制中心或各控制中心相距不远的情况下,BAS、SAS、FAS 可共用同一个管理网络层,构成建筑管理系统(BMS),但应使三者其余部分的网络各自保持相对独立。

15.2.1.4 控制网络层(分站)

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



18.4.1 控制网络层应完成对主控项目的开环控制和闭环控制、监控点逻辑开关表控制和监控点时间表控制。

18.4.2 控制网络层应由通信总线和控制器组成。通信总线的通信协议宜采用 TCP/IP、BACnet、LonTalk、MeterBus 和 ModBus 等国际标准。

18.4.3 控制网络层的控制器(分站)宜采用直接数字控制器(DDC)、可编程逻辑控制器(PLC)或兼有 DDC、PLC 特性的混合型控制器 HC(Hybrid Controller)。

18.4.4 在民用建筑中,除有特殊要求外,应选用 DDC 控制器。

18.4.5 控制器(分站)的技术要求应符合下列规定:

1. CPU 不宜低于 16 位。

2. MM 不宜低于 128kB。

3. EPROM 和(或)Flash-EPROM 不宜低于 512KB。

4. MM 数据应有 72h 断电保护。

5. 操作系统软件、应用程序软件应存储在 EPROM 或 Flash-EPROM 中。

6. 硬件和软件宜采用模块化结构。

7. 可提供使用现场总线技术的分布式智能输入输出模块,构成开放式系统,分布式智能输入、输出模块应安装在现场网络层上。

8. 应提供至少一个 RS232 通信接口与计算机在现场连接。

9. 应提供与控制网络层通信总线的通信接口,便于控制器与通信总线连接和与其他控制器通信。

10. 宜提供与现场网络层通信总线的通信接口,便于控制器与现场网络通信总线连接并与现场设备通信。

11. 控制器(分站)宜提供数字量和模拟量输入输出以及高速计数脉冲输入,并应满足控制任务优先级别管理和实时性要求。

12. 控制器(分站)规模以监控点(硬件点)数量区分,每台不宜超过 256 点。

13. 控制器(分站)宜通过图形化编程工程软件进行配置和选择控制应用。

14. 控制器宜选用挂墙的箱式结构或小型落地柜式结构,分布式智能输入输出模块宜采用可直接安装在建筑设备的控制柜中的导轨式模块结构。

15. 应提供控制器典型配置时的平均无故障工作时间(MTBF)。

16. 每个控制器(分站)在管理网络层故障时应能继续独立工作。

18.4.6 每台控制器(分站)的监控点数(硬件点)应留有余量,不宜小于 10%。

18.4.7 控制网络层的配置应符合下列规定:

1. 宜采用总线拓扑结构,也可采用环形、星形拓扑结构、用双绞线作为传输介质。

2. 控制网络层可包括并行工作的多条通信总线,每条通信总线可通过网络通信接口与管理网络层(中央管理工作站)连接,也可通过管理网络层服务器的 RS232 通信接口或内置通信网卡直接与服务器连接。

3. 当控制器(分站)采用以太网通信接口而与管理网络层处于同一通信级别时,可采用

交换式集线器连接，与中央管理工作站进行通信。

4. 控制器（分站）之间通信，应为对等式（peer to peer）直接数据通信。

5. 控制器（分站）可与现场网络层的智能现场仪表和分布式智能输入、输出模块进行通信；

6. 当控制器（分站）采用分布式智能输入、输出模块时，可以用软件配置的方法，把各个输入、输出点分配到不同的控制器（分站）中进行监控。

15.2.1.5 现场网络层

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



18.5.1 中型及以上系统的现场网络层，宜由通信总线连接微控制器、分布式智能输入输出模块和传感器、电量变送器、照度变送器、执行器、阀门、风阀、变频器等智能现场仪表组成。也可使用常规现场仪表和一对一连线。

18.5.2 现场网络层宜采用 TCP/IP、BACnet、LonTalk、Me-ter Bus 和 ModBus 等国际标准通信总线。

18.5.3 微控制器应具有对末端设备进行控制的功能，并能独立于控制器（分站）和中央管理工作站完成控制操作。

18.5.4 微控制器按专业功能可分为下列几类：

1. 空调系统的变风量箱微控制器、风机盘管微控制器、吊顶空调微控制器、热泵微控制器等。

2. 给水排水系统的给水泵微控制器、中水泵微控制器、排水泵微控制器等。

3. 变配电微控制器、照明微控制器等。

18.5.5 微控制器宜直接安装在被控设备的控制柜（箱）里，成为控制设备的一部分。

18.5.6 作为控制器的组成部分的分布式智能输入输出模块，应通过通信总线与控制器计算机模块连接。

18.5.7 智能现场仪表应通过通信总线与控制器、微控制器进行通信。

18.5.8 控制器、微控制器和分布式智能输入输出模块，应与常规现场仪表进行一对一的配线连接。

18.5.9 现场网络层的配置应符合下列规定：

1. 微控制器、分布式智能输入输出模块、智能现场仪表之间，应为对等式直接数据通信。

2. 现场网络层可包括并行工作的多条通信总线，每条通信总线可视为一个现场网络。

3. 每个现场网络可通过网络通信接口与管理网络层（中央管理工作站）连接，也可通过网络管理层服务器 RS232 通信接口或内置通信网卡直接与服务器连接。

4. 当微控制器和（或）分布式智能输入输出模块，采用以太网通信接口而与管理网络层处于同一通信级别时，可采用交换式集线器连接，与中央管理工作站进行通信。

5. 智能现场仪表可通过网络通信接口与控制网络层控制器（分站）进行通信。

6. 智能现场仪表宜采用分布式连接，用软件配置的方法，可把各种现场设备信息分配到不同的控制器、微控制器中进行处理。

7. 现场网络层的配置除应符合本条规定外，尚应符合《民用建筑电气设计规范》（JGJ

16—2008)第18.4.7条1～2款的规定。

15.2.1.6 建筑设备监控系统的软件要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

18.6 建筑设备监控系统的软件

18.6.1 建筑设备监控系统的三个网络层,应具有下列不同的软件:

1. 管理网络层的客户机和服务器软件。

2. 控制网络层的控制器软件。

3. 现场网络层的微控制器软件。

18.6.2 管理网络层(中央管理工作站)应配置服务器软件、客户机软件、用户工具软件和可选择的其他软件,并应符合下列规定:

1. 管理网络层软件应符合下列要求:

1)应支持客户机和服务器体系结构;

2)应支持互联网连接;

3)应支持开放系统;

4)应支持建筑管理系统(BMS)的集成。

2. 服务器软件应符合下列要求:

1)宜采用Windows 2003以上操作系统;

2)应采用TCP/IP通信协议;

3)应采用Internet Explorer 6.0 SP1以上浏览器软件;

4)实时数据库冗余配置时应为两套;

5)关系数据库冗余配置时应为两套;

6)不同种类的控制器、微控制器应有不同种类的通信接口软件;

7)应具有监控点时间表程序、事件存档程序、报警管理程序、历史数据采集程序、趋势图程序、标准报告生成程序及全局时间表程序;

8)宜有不少于100幅标准画面。

3. 客户机软件应符合下列要求:

1)应采用Windows XP SP1以上操作系统;

2)应采用TCP/IP通信协议;

3)应采用Internet Explorer 6.0 SP1以上浏览器软件;

4)应有操作站软件;

5)应采用Web网页技术;

6)应有系统密码保护和操作员操作级别设置软件。

4. 用户工具软件应符合下列要求:

1)应有建立建筑设备监控系统网络和组建数据库软件;

2)应有生成操作站显示图形软件。

5. 工程应用软件应符合下列要求:

1)应有控制器自动配置软件;

2)应有建筑设备监控系统调试软件。

6. 当监控系统需要时，可选择下列软件：

1)DSA 分布式服务器系统软件；

2)开放式系统接口软件；

3)火灾自动报警系统接口软件；

4)安全防范系统接口软件；

5)企业资源管理系统接口软件(包括物业管理系统接 E1 软件)。

18.6.3 控制网络层(控制器)软件应符合下列规定：

1. 控制网络层软件应符合下列要求：

1)控制器应接受传感器或控制网络、现场网络变化的输入参数(状态或数值)，通过执行预定的控制算法，把结果输出到执行器、变频器或控制网络、管理网络；

2)控制器应设定和调整受控设备的相关参数；

3)控制器与控制器之间应进行对等式通信，实现数据共享；

4)控制器应通过网络上传中央管理工作站所要求的数据；

5)控制器应独立完成对所辖设备的全部控制，无须中央管理工作站的协助；

6)控制器应具有处理优先级别设置功能；

7)控制器应能通过网络下载或现场编程输入更新的程序或改变配置参数。

2. 控制器操作系统软件应符合下列要求：

1)应能控制控制器硬件；

2)应为操作员提供控制环境与接口；

3)应执行操作员命令或程序指令；

4)应提供输入输出、内存和存储器、文件和目录管理，包括历史数据存储；

5)应提供对网络资源的访问；

6)应使控制网络层、现场网络层节点之间能够通信；

7)应响应管理网络层、控制网络层上的应用程序或操作员的请求；

8)可以采用计算机操作系统开发控制器操作平台；

9)可以嵌入 Web 服务器，支持因特网连接，实现浏览器直接访问控制器。

3. 控制器编程软件应符合下列要求：

1)应有数据点描述软件，具有数值、状态、限定值、默认值设置，用户可调用和修改数据点内的信息；

2)应有时间程序软件，可在任何时间对任何数据点赋予设定值或状态，包括每日程序、每周程序、每年程序、特殊日列表程序、今日功能程序等；

3)应有事件触发程序软件；

4)应有报警处理程序软件，导致报警信息生成的事件包括超出限定值、维护工作到期、累加器读数、数据点状态改变；

5)应有利用图形化或文本格式编程工具，或使用预先编好的应用程序样板，创建任何功能的控制程序应用程序软件和专用节能管理软件；

6)应有趋势图软件；

7)应有控制器密码保护和操作员级别设置软件。

4. 应提供独立运行的控制器仿真调试软件，检查控制器模块、监控点配置是否正确，检验控制策略、开关逻辑表、时间程序表等各项内容设计是否满足控制要求。

18.6.4 现场网络层软件应符合下列规定：

1. 现场层网络通信协议，宜符合由国家或国际行业协会制定的某种可互操作性规范，以实现设备互操作。

2. 现场网络层嵌入式系统设备功能，宜符合由国家或国际行业协会制定的行业规范文件的功能规定并符合下列要求：

1)微控制器功能宜符合某种末端设备控制器行业规范功能文件的规定，成为该类末端设备的专用控制器，并可以和符合同一行业规范功能文件的第三方厂商生产的微控制器实现互操作；

2)分布式智能输入输出模块宜符合某种分布式智能输入输出模块(数字输入模块 DI、数字输出模块 DO、模拟输入模块 AI、模拟输出模块 AO)行业规范功能文件的规定，成为该类模块的规范化的分布式智能输入输出模块，并可以和符合同一行业规范功能文件的第三方厂商生产的同类分布式智能输入输出模块实现互换；

3)智能仪表宜符合温度、湿度、流量、压力、物位、成分、电量、热能、照度、执行器、变频器等仪表的行业规范功能文件的规定，成为该类仪表的规范化智能仪表，并可以和任何符合同一行业规范仪表功能文件的第三方厂商生产的智能仪表实现互换。

3. 每种嵌入式系统均应安装该种嵌入式系统设备的专用软件，用于完成该种专用功能。

4. 嵌入式系统的操作系统软件应具有系统内核小、内存空间需求少、实时性强的特点。

5. 嵌入式系统设备编程软件，应符合国家或国际行业协会行业标准中的《应用层可互操作性准则》的规定，并宜使用已成为计算机编程标准的《面向对象编程》方法进行编程。

15.2.2 建筑设备监控系统的设计要求

15.2.2.1 冷冻水及冷却水系统的监控系统设计要求

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

18.8.1 压缩式制冷系统的监控应符合下列规定：

1. 冷水机的电机、压缩机、蒸发器、冷凝器等内部设备的自动控制和安全保护均由机组自带的控制系统监控，宜由供应商提供数据总线通信接口，直接与建筑设备监控系统交换数据。冷冻水及冷却水系统的外部水路的参数监测与控制，应由建筑设备监控系统控制器(分站)完成。

2. 建筑设备监控系统应具有下列控制功能：

1)制冷系统启停的顺序控制；

2)冷冻水供水压差恒定闭环控制；

3)备用泵投切、冷却塔风机启停和冷水机低流量保护的开关量控制；

4)根据冷量需求确定冷水机运行台数的节能控制；

5)宜对冷水机组出水温度进行优化设定；

6)冷却水最低水温控制；

7)冷却塔风机台数控制或风机调速控制。

中小型工程冷冻水宜采用一次泵系统，系统较大、阻力较高且各环路负荷特性或阻力相

差悬殊时，宜采用二次泵系统；二次泵宜选用变频调速控制。

3. 冷冻水及冷却水系统参数监测应符合下列要求：

1)冷冻水供水、回水温度测量应设置自动显示、超限报警、历史数据记录、打印及趋势图；

2)冷冻水供水流量测量应设置瞬时值显示、流量积算、超限报警、历史数据记录、打印及趋势图；

3)应根据冷冻水供回水温差及流量瞬时值计算冷量和累计冷量消耗；

4)当系统有冷冻水过滤器时，应设置堵塞报警；

5)进、出冷水机的冷却水水温测量应设置自动显示、极限值报警、历史数据记录、打印；

6)冷却塔风机联动控制，应根据设定的冷却水温度上、下限启停风机；

7)闭式空调水系统宜设高位膨胀水箱或气体定压罐定压，膨胀水箱内水位开关的高低水位或气体定压罐内高低压力越限时，应报警、进行历史数据记录和打印；

8)系统内的水泵、风机、冷水机组应设置运行时间记录。

18.8.2 溴化锂吸收式制冷系统的监控应符合下列规定：

1. 冷水机组的高压发生器、低压发生器、溶液泵、蒸发器、吸收器(冷凝器)、直燃型的燃烧器等内部设备宜由机组自带的控制器监控，并宜由供应商提供数据总线通信接口，直接与建筑设备监控系统交换数据。冷冻水及冷却水系统的外部水路的参数监测与控制及各设备顺序控制，应由建筑设备监控系统控制器完成。

2. 建筑设备监控系统的控制功能及工艺参数的监测应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第18.8.1条2、3款的规定。

3. 溴化锂吸收式制冷系统不宜提供低温冷冻水，冷冻水出口温度应大于3℃。同时应设置冷却水温度低于24℃时的防溴化锂结晶报警及联锁控制。

18.8.3 冰蓄冷系统的监控应符合下列规定：

1. 宜选用PLC可编程逻辑控制器或HC混合型控制器(PLC+DCS)。

2. 应选用可流通乙二醇水溶液的蝶阀和调节阀，阀门工作温度应满足工艺要求。

3. 蓄冰槽进出口乙二醇溶液温度应设置自动显示、极限报警、历史数据记录、打印及趋势图。

4. 蓄冰槽液位测量应设置自动显示、极限报警、历史数据记录、打印及趋势图。宜选用超声波液位变送器，精度1.5%。

5. 冰蓄冷系统交换器二次冷冻水及冷却水系统的监控与压缩式制冷系统相同，除符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第18.8.1条3款的规定外，尚应增加下列控制：

1)换热器二次冷媒侧应设置防冻开关保护控制；

2)控制器(分站)应有主机蓄冷、主机供冷、融冰供冷、主机和蓄冷设备同时供冷运行模式参数设置，同时应具有主机优先、融冰优先、固定比例供冷运行模式的自动切换，并应根据数据库的负荷预测数据进行综合优化控制。

18.8.4 水源热泵系统的监控应符合下列规定：

1. 水源热泵机组均由设备本身自带的控制盘监控，宜由供应商提供数据通信总线接口。建筑设备监控系统应完成风机、冷却塔、水泵启停和循环水温度控制。

2. 水源热泵机组控制应符合下列要求：

1)小型机组由回风或室内温度直接控制压缩机启停；

2)大、中型机组宜采用多台压缩机分级控制方式;

3)压缩机宜采用变频调速控制。

3. 循环水温度控制应符合下列要求:

1)当循环水温度 T_x 大于或等于 30℃时,应自动切换为夏季工况,冷却水系统供电准备投入工作;

2)当循环水温度 T_x 小于 30℃,大于 20℃时,为过渡季节,冷却水系统及辅助热源系统自动切除;

3)当循环水温度 T_x 小于或等于 20℃时,自动切换为冬季工况,辅助热源系统投入工作。

4. 循环水温度可直接控制封闭式冷却塔运行台数和冷却塔风机的转速。

5. 循环水泵可采用变速控制,控制循环水温度在设定值范围。

6. 循环水泵温度低于 7℃应报警,低于 4℃热泵应停止工作。

7. 冷却塔宜设防冻保护。

8. 循环水泵系统宜设置水流开关,监测系统运行状态。循环水泵进出口宜设置压差开关,当检测到系统水流量减小时,应自动投入备用水泵,若水流量不能恢复,热泵应停止工作。

15.2.2.2 热交换系统的监控系统设计要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

18.9.1 热交换系统的监控应符合下列规定:

1. 热交换系统应设置启停顺序控制。

2. 自动调节系统应根据二次供水温度设定值控制一次侧温度调节阀开度,使二次侧热水温度保持在设定范围。

3. 热交换系统宜设置二次供回水恒定压差控制,根据设在二次供回水管道上的差压变送器测量值,调节旁通阀开度或调节热水泵变频器的频率以改变水泵转速,保持供回水压差在设定值范围。

18.9.2 热交换系统的参数监测应符合下列规定:

1. 汽—水交换器应监测蒸汽温度、二次供回水温度、供回水压力,并应监测热水循环泵运行状态;当温度、压力超限及热水循环泵故障时报警。

2. 水—水交换器应监测一次供回水温度、压力,二次供回水温度、压力,并应监测热水循环泵运行状态;当温度、压力超限及热水循环泵故障时报警。

3. 二次水流量测量宜设置瞬时值显示、流量积算、历史数据记录、打印。

4. 当需要经济核算时,应根据二次供回水温差及流量瞬时值计算热量和累计热量消耗。

15.2.2.3 采暖通风及空气调节系统的监控系统设计要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

18.10.1 新风机组的监控应符合下列规定:

1. 新风机与新风阀应设连锁控制。

2. 新风机启停控制应设置自动控制和手动控制。

3. 当发生火灾时，应接受消防联动控制信号联锁停机。

4. 在寒冷地区，新风机组应设置防冻开关报警和联锁控制。

5. 新风机组应设置送风温度自动调节系统。

6. 新风机组宜设置送风湿度自动调节系统。

7. 新风机组可设置由室内 CO_2 浓度控制送风量的自动调节系统。

18.10.2 新风机组的参数监测应符合下列规定：

1. 新风机组应设置送风温度、湿度显示。

2. 应设置新风过滤器两侧压差监测、压差超限报警。

3. 应设置机组启停状态及阀门状态显示。

4. 宜设置室外温、湿度监测。

18.10.3 空调机组的监控应符合下列规定：

1. 空调机组应设置风机、新风阀、回风阀联锁控制。

2. 空调机组启停，应设置自动控制和手动控制。

3. 当发生火灾时，应接受消防联动控制信号联锁停机。

4. 在寒冷地区，空调机组应设置防冻开关报警和联锁控制。

5. 在定风量空调系统中，应根据回风或室内温度设定值，比例、积分连续调节冷水阀或热水阀开度，保持回风或室内温度不变。

6. 在定风量空调系统中，应根据回风或室内湿度设定值，开关量控制或连续调节加湿除湿过程，保持回风或室内湿度不变。

7. 在定风量系统中，宜设置根据回风或室内 CO_2 浓度控制新风量的自动调节系统。

8. 当采用单回路调节不能满足系统控制要求时，宜采用串级调节系统。

9. 在变风量空调机组中，送风量的控制宜采用定静压法、变静压法或总风量法，并应符合下列要求：

1）当采用定静压法时，应根据送风静压设定值控制变速风机转速；

2）当采用变静压法时，为使送风管道静压值处于最小状态，宜使变风量箱风阀均处于85%～99%的开度；

3）当采用总风量法时，应以所有变风量末端装置实时风量之和，控制风机转速以改变送风量。

18.10.4 空调机组的参数监测应符合下列规定：

1. 空调机组应设置送、回风温度显示和趋势图，当有湿度控制要求时，应设置送、回风湿度显示。

2. 空气过滤器应设置两侧压差的监测、超限报警。

3. 当有 CO_2 浓度控制要求时，应设置 CO_2 浓度监测，并显示其瞬时值。

18.10.5 风机盘管是与新风机组配套使用的空调末端设备，其监控应符合下列规定：

1. 风机盘管宜由开关式温度控制器自动控制电动水阀通断，手动三速开关控制风机高、中、低三种风速转换。

2. 风机启停应与电动水阀联锁，两管制冬夏均运行的风机盘管宜设手动控制冬夏季切换开关。

3. 控制要求高的场所，宜由专用的风机盘管微控制器控制，微控制器应提供四管制的热水阀、冷冻水阀连续调节和风机三速控制，冬夏季自动切换两管制系统；

4. 微控制器应提供以太网或现场总线通信接口,构成开放式现场网络层。

18.10.6 变风量空调系统末端装置(箱)的选择应符合下列规定:

1. 当选用压力有关型变风量箱时,采用室内温度传感器、微控制器及电动风阀构成单回路闭环调节系统,其控制器宜选择一体化微控制器,温度控制器与风阀电动执行器制成一体,可直接安装在变风量箱上。

2. 当选用压力无关型变风量箱时,采用室内温度作为主调节参数,变风量箱风阀入口风量或风阀开度作为副调节参数,构成串级调节系统,其控制器宜选择一体化微控制器,串级控制器与风阀电动执行器制成一体,可直接安装在变风量箱上。

15.2.2.4 生活给水、中水及排水系统的监控系统设计要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

18.11.1 生活给水系统的监控应符合下列规定:

1. 当建筑物顶部设有生活水箱时,应设置液位计测量水箱液位,其高、低Ⅰ值宜用于控制给水泵,高、低Ⅱ值用于报警。

2. 当建筑物采用变频调速给水系统时,应设置压力变送器测量给水管压力,用于调节给水泵转速以稳定供水压力。

3. 应设置给水泵运行状态显示、故障报警。

4. 当生活给水泵故障时,备用泵应自动投入运行。

5. 宜设置主、备用泵自动轮换工作方式。

6. 给水系统控制器宜有手动、自动工况转换。

18.11.2 中水系统的监控应符合下列规定:

1. 中水箱应设置液位计测量水箱液位,其上限信号用于停止中水泵,下限信号用于启动中水泵。

2. 主泵故障时,备用泵应自动投入运行。

3. 宜设置主、备用泵自动轮换工作方式。

4. 中水系统控制器宜有手动、自动工况转换。

18.11.3 排水系统的监控应符合下列规定:

1. 当建筑物内设有污水池时,应设置液位计测量水池水位,其上限信号用于启动排污泵,下限信号用于停泵。

2. 应设置污水泵运行状态显示、故障报警。

3. 当污水泵故障时,备用泵应能自动投入。

4. 排水系统的控制器应设置手动、自动工况转换。

15.2.2.5 供配电系统的监控系统设计要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

18.12.1 建筑设备监控系统应对供配电系统下列电气参数进行监测:

1. 10(6)kV 进线断路器、馈线断路器和联络断路器,应设置分、合闸状态显示及故障跳闸报警。

2. 10(6)kV 进线回路及配出回路,应设置有功功率、无功功率、功率因数、频率显示及历

史数据记录。

3.10(6)kV 进出线回路宜设置电流、电压显示及趋势图和历史数据记录。

4.0.4kV 进线开关及重要的配出开关应设置分、合闸状态显示及故障跳闸报警。

5.0.4kV 进出线回路宜设置电流、电压显示，趋势图及历史数据记录。

6. 宜设置 0.4kV 零序电流显示及历史数据记录。

7. 宜设置功率因数补偿电流显示及历史数据记录。

8. 当有经济核算要求时，应设置用电量累计。

9. 宜设置变压器线圈温度显示、超温报警、运行时间累计及强制风冷风机运行状态显示。

18.12.2 柴油发电机组宜设置下列监测功能：

1. 柴油发电机工作状态显示及故障报警。

2. 日用油箱油位显示及超高、超低报警。

3. 蓄电池组电压显示及充电器故障报警。

15.2.2.6 公共照明系统的监控系统设计要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

18.13.1 公共照明系统的监控应符合下列规定：

1. 室内照明系统宜采用分布式控制器，当采用第三方专用控制系统时，该系统应有与建筑设备监控系统网络连接的通信接口。

2. 室内照明系统的控制器应有自动控制和手动控制等功能，正常工作时，宜采用自动控制，检修或故障时，宜采用手动控制。

3. 室内照明宜按分区时间表程序开关控制，室外照明可按时间表程序开关控制，也可采用室外照度传感器进行控制，室外照度传感器应考虑设备防雨防尘的防护等级。

4. 照明控制箱应由分布式控制器与配电箱两部分组成，可选择一体的，也可选择分体的，控制器与其配用的照度传感器宜选用现场总线连接方式。

18.13.2 照明系统节能设计应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 18.13.1条 3 款及第 18.15.5、18.15.6 条的规定。

15.2.2.7 电梯和自动扶梯系统的监控系统设计要求

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

18.14.1 电梯和自动扶梯运行参数的监测宜符合下列规定：

1. 宜设置电梯、自动扶梯运行状态显示及故障报警。

2. 当监控电梯群组运行时，电梯群宜分组、分时段控制。

3. 宜对每台电梯的运行时间进行累计。

18.14.2 建筑设备监控系统与火灾信号应设有联锁控制。当系统接收火灾信号后，应将全部客梯迫降至首层。

15.2.3 现场仪表的选择

15.2.3.1 传感器的选择

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

18.7.1 传感器的选择应符合下列规定：

1. 传感器的精度和量程应满足系统控制及参数测量的要求。

2. 温度传感器量程应为测点温度的1.2～1.5倍，管道内温度传感器热响应时间不应大于25s，当在室内或室外安装时，热响应时间不应大于150s。

3. 仅用于一般温度测量的温度传感器，宜采用分度号为Pt1000的B级精度(二线制)；当参数参与自动控制和经济核算时，宜采用分度号为Pt100的A级精度(三线制)。

4. 湿度传感器应安装在附近没有热源、水滴且空气流通，能反映被测房间或风道空气状态的位置，其响应时间不应大于150s。

5. 压力(压差)传感器的工作压力(压差)，应大于测点可能出现的最大压力(压差)的1.5倍，量程应为测点压力(压差)的1.2～1.3倍。

6. 流量传感器量程应为系统最大流量的1.2～1.3倍，且应耐受管道介质最大压力，并具有瞬态输出；流量传感器的安装部位，应满足上游10D(管径)、下游5D的直管段要求，当采用电磁流量计、涡轮流量计时，其精度宜为1.5%。

7. 液位传感器宜使正常液位处于仪表满量程的50%。

8. 成分传感器的量程应按检测气体、浓度进行选择，一氧化碳气体宜按0～300ppm或0～500ppm；二氧化碳气体宜按0～2000ppm或0～10000ppm(ppm=10^{-6})。

9. 风量传感器宜采用皮托管风量测量装置，其测量的风速范围不宜小于2～16m/s，测量精度不应小于5%。

10. 智能传感器应有以太网或现场总线通信接口。

15.2.3.2 调节阀和风阀的选择

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

18.7.2 调节阀和风阀的选择应符合下列规定：

1. 水管道的两通阀宜选择等百分比流量特性。

2. 蒸汽两通阀，当压力损失比大于或等于0.6时，宜选用线性流量特性；小于0.6时，宜选用等百分比流量特性。

3. 合流三通阀应具有合流后总流量不变的流量特性，其A-AB口宜采用等百分比流量特性，B-AB口宜采用线性流量特性。

分流三通阀应具有分流后总流量不变的流量特性，其AB-A口宜采用等百分比流量特性，AB-B口宜采用线性流量特性。

4. 调节阀的口径应通过计算阀门流通能力确定。

5. 空调系统宜选择多叶对开型风阀，风阀面积由风管尺寸决定，并应根据风阀面积选择风阀执行器，执行器扭矩应能可靠关闭风阀；风阀面积过大时，可选多台执行器并联工作。

18.7.3 执行器宜选用电动执行器，其输出的力或扭矩应使阀门或风阀在最大流体流

通压力时可靠开启和闭合。

15.2.3.3 变频器的选择

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



18.7.4 水泵、风机变频器输出频率范围应为1～55Hz,变频器过载能力不应小于120%额定电流,变频器外接给定控制信号应包括电压信号和电流信号,电压信号为直流0～10V,电流信号为直流4～20mA。

15.3 安全防范系统的设计要求

15.3.1 安全防范系统的概念及要求

15.3.1.1 一般规定

规范引用 《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)



3.1.1 安全防范工程的设计应根据被防护对象的使用功能、建设投资及安全防范管理工作的要求,综合运用安全防范技术、电子信息技术、计算机网络技术等,构成先进、可靠、经济、适用、配套的安全防范应用系统。

3.1.2 安全防范工程的设计应以结构化、规范化、模块化、集成化的方式实现,应能适应系统维护和技术发展的需要。

3.1.3 安全防范系统的配置应采用先进而成熟的技术、可靠而适用的设备。

3.1.4 安全防范系统中使用的设备必须符合国家法规和现行相关标准的要求,并经检验或认证合格。

3.1.5 安全防范工程的设计应遵循下列原则:

1. 系统的防护级别与被防护对象的风险等级相适应。
2. 技防、物防、人防相结合,探测、延迟、反应相协调。
3. 满足防护的纵深性、均衡性、抗易损性要求。
4. 满足系统的安全性、电磁兼容性要求。
5. 满足系统的可靠性、维修性与维护保障性要求。
6. 满足系统的先进性、兼容性、可扩展性要求。
7. 满足系统的经济性、适用性要求。

3.1.6 安全防范工程程序与要求应符合国家现行标准《安全防范工程程序与要求》(GA/T 75—1994)的有关规定。

15.3.1.2 安全防范系统构成

规范引用 《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)



3.3.1 安全防范系统构成包括下列内容:

1. 安全防范系统一般由安全管理系统和若干个相关子系统组成。

2. 安全防范系统的结构模式按其规模大小、复杂程度可有多种构建模式。按照系统集成度的高低,安全防范系统分为集成式、组合式、分散式三种类型。

3. 各相关子系统的基本配置,包括前端、传输、信息处理/控制/管理、显示/记录四大单元。不同(功能)的子系统,其各单元的具体内容有所不同。

4. 现阶段较常用的子系统主要包括:入侵报警系统、视频安防监控系统、出入口控制系统、电子巡查系统、停车库(场)管理系统以及以防爆安全检查系统为代表的特殊子系统等。

15.3.1.3 高风险对象的风险等级与防护级别的划分

《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)





4.1.1 防护对象风险等级的划分应遵循下列原则:

1. 根据被防护对象自身的价值、数量及其周围的环境等因素,判定被防护对象受到威胁或承受风险的程度。

2. 防护对象的选择可以是单位、部位(建筑物内外的某个空间)和具体的实物目标。不同类型的防护对象,其风险等级的划分可采用不同的判定模式。

3. 防护对象的风险等级分为三级,按风险由大到小定为一级风险、二级风险和三级风险。

4.1.2 安全防范系统的防护级别应与防护对象的风险等级相适应。防护级别共分为三级,按其防护能力由高到低定为一级防护、二级防护和三级防护。

4.1.3 本节适用于文物保护单位和博物馆、银行营业场所、民用机场、铁路车站和重要物资储存库等五类特殊对象的风险等级及其所需的防护级别。

4.1.4 高风险对象的风险等级与防护级别的确定应符合下列规定:

1. 文物保护单位、博物馆风险等级和防护级别的划分按照《文物系统博物馆风险等级和安全防护级别的规定》(GA 27—2002)执行。

2. 银行营业场所风险等级和防护级别的划分按照《银行营业场所风险等级和防护级别的规定》(GA 38—2004)执行。

3. 重要物资储存库风险等级和防护级别的划分根据国家的法律、法规和公安部与相关行政主管部门共同制定的规章,并按第4.1.1条的原则进行确定。

4. 民用机场风险等级和防护级别遵照中华人民共和国民用航空总局和公安部的有关管理规章,根据国内各民用机场的性质、规模、功能进行确定,并符合表15-6的规定。

表15-6 民用机场风险等级与防护级别

风险等级	机场	防护级别
一级	国家规定的中国对外开放一类口岸的国际机场及安防要求特殊的机场	一级
二级	除定为一级风险以外的其他省会城市国际机场	二级或二级以上
三级	其他机场	三级或三级以上

5. 铁路车站的风险等级和防护级别遵照中华人民共和国铁道部和公安部的有关管理规章,根据国内各铁路车站的性质、规模、功能进行确定,并符合表15-7的规定。

表 15-7 铁路车站风险等级与防护级别

风险等级	铁路车站	防护级别
一级	特大型旅客车站、客货运特等站及安防要求特殊的车站	一级
二级	大型旅客车站、客货运一等站、特等编组站、特等货运站	二级
三级	中型旅客车站(最高聚集人数不少于 600 人)、客货运二等站、一等编组站、一等货运站	三级

注:表中铁路车站以外的其他车站防护级别可为三级。

15.3.1.4 监控中心设计

《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)

规范引用

3.13.1 监控中心应设置为禁区,应有保证自身安全的防护措施和进行内外联络的通信手段,并应设置紧急报警装置和留有向上一级接处警中心报警的通信接口。

3.13.2 监控中心的面积应与安防系统的规模相适应,不宜小于 20m^2。应有保证值班人员正常工作的相应辅助设施。

3.13.3 监控中心室内地面应防静电、光滑、平整、不起尘。门的宽度不应小于 0.9m,高度不应小于 2.1m。

3.13.4 监控中心内的温度宜为 16～30℃,相对湿度宜为 30%～75%。

3.13.5 监控中心内应有良好的照明。

3.13.6 室内的电缆、控制线的敷设宜设置地槽;当不设置地槽时,也可敷设在电缆架槽、电缆走廊、墙上槽板内,或采用活动地板。

3.13.7 根据机架、机柜、控制台等设备的相应位置,应设置电缆槽和进线孔。槽的高度和宽度应满足敷设电缆的容量和电缆弯曲半径的要求。

3.13.8 室内设备的排列,应便于维护与操作,并应满足《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)第 3.5 节和消防安全的规定。

3.13.9 控制台的装机容量应根据工程需要留有扩展余地。控制台的操作部分应方便、灵活、可靠。

3.13.10 控制台正面与墙的净距离不应小于 1.2m;侧面与墙或其他设备的净距离,在主要走道不应小于 1.5m,在次要走道不应小于 0.8m。

3.13.11 机架背面和侧面与墙的净距离不应小于 0.8m。

3.13.12 监控中心的供电、接地与雷电防护设计应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)第 3.12 节和第 3.9 节的相关规定。

3.13.13 监控中心的布线、进出线端口的设置、安装等,应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)第 3.11 节的相关规定。

15.3.2 视频监控系统

15.3.2.1 一般规定

《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395—2007)

规范引用

3.0.1 视频安防监控系统工程设计应符合国家现行标准《安全防范工程技术规范》

(GB 50348—2004)和《视频安防监控系统技术要求》(GA/T 367—2001)的相关规定。

3.0.2 视频安防监控系统工程的设计应综合应用视频探测、图像处理/控制/显示/记录、多媒体、有线/无线通信、计算机网络、系统集成等先进而成熟的技术,配置可靠而适用的设备,构成先进、可靠、经济、适用、配套的视频监控应用系统。

3.0.3 视频安防监控系统中使用的设备必须符合国家法律法规和现行强制性标准的要求,并经法定机构检验或认证合格。

3.0.4 系统的制式应与我国的电视制式一致。

3.0.5 系统兼容性应满足设备互换性要求,系统可扩展性应满足简单扩容和集成的要求。

3.0.6 视频安防监控系统工程的设计应满足以下要求:

1. 不同防范对象、防范区域对防范需求(包括风险等级和管理要求)的确认。

2. 风险等级、安全防护级别对视频探测设备数量和视频显示/记录设备数量要求;对图像显示及记录和回放的图像质量要求。

3. 监视目标的环境条件和建筑格局分布对视频探测设备选型及其设置位置的要求。

4. 对控制终端设置的要求。

5. 对系统构成和视频切换、控制功能的要求。

6. 与其他安防子系统集成的要求。

7. 视频(音频)和控制信号传输的条件以及对传输方式的要求。

3.0.7 视频安防监控系统工程的设计流程与深度应符合《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395—2007)附录 A 的规定。设计文件应准确、完整、规范。

15.3.2.2 视频监控系统构成

《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395—2007)

4.0.1 视频安防监控系统包括前端设备、传输设备、处理/控制设备和记录/显示设备四部分。

4.0.2 根据对视频图像信号处理/控制方式的不同,视频安防监控系统结构宜分为以下模式:

1. 简单对应模式:监视器和摄像机简单对应(见图 15-2)。

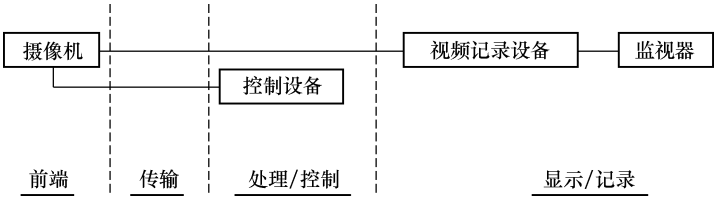


图 15-2 简单对应模式

2. 时序切换模式:视频输出中至少有一路可进行视频图像的时序切换(见图 15-3)。

3. 矩阵切换模式:可以通过任一控制键盘,将任意一路前端视频输入信号切换到任意一路输出的监视器上,并可编制各种时序切换程序(见图 15-4)。

4. 数字视频网络虚拟交换/切换模式:模拟摄像机增加数字编码功能,被称作网络摄像机,数字视频前端也可以是别的数字摄像机。数字交换传输网络可以是以太网和 DDN、SDH 等传输网络。数字编码设备可采用具有记录功能的 DVR 或视频服务器,数字视频的

处理、控制和记录措施可以在前端、传输和显示的任何环节实施(见图 15-5)。

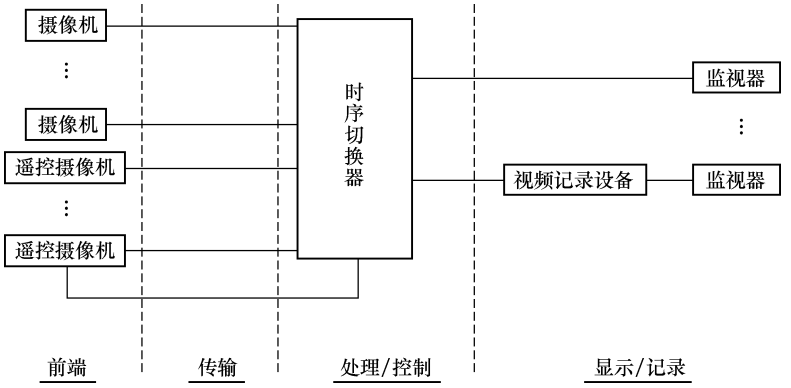


图 15-3　时序切换模式

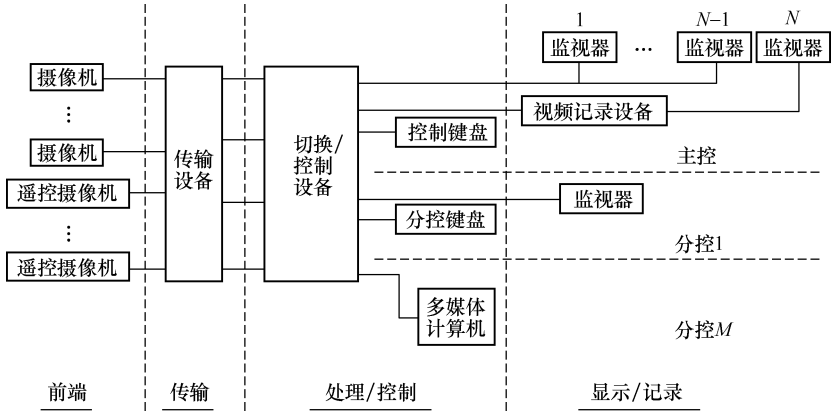


图 15-4　矩阵切换模式

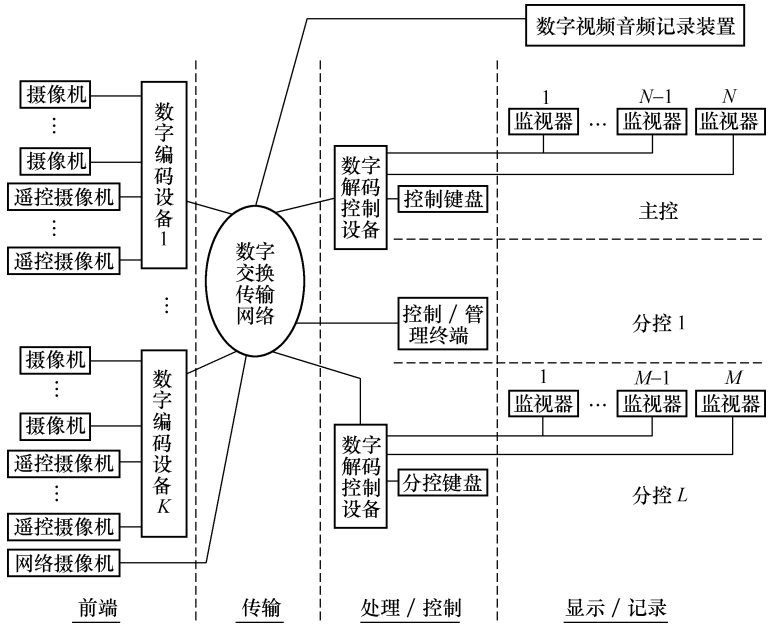


图 15-5　数字视频网络虚拟交换/切换模式

15.3.2.3 设备的选型与设置

规范引用 《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395—2007)



6.0.1 摄像机的选型与设置应符合以下规定:

1. 为确保系统总体功能和总体技术指标,摄像机选型要充分满足监视目标的环境照度、安装条件、传输、控制和安全管理需求等因素的要求。

2. 监视目标的最低环境照度不应低于摄像机靶面最低照度的50倍。

3. 监视目标的环境照度不高,而要求图像清晰度较高时,宜选用黑白摄像机;监视目标的环境照度不高,且需安装彩色摄像机时,需设置附加照明装置。附加照明装置的光源光线宜避免直射摄像机镜头,以免产生晕光,并力求环境照度分布均匀,附加照明装置可由监控中心控制。

4. 在监视目标的环境中可见光照明不足或摄像机隐蔽安装监视时,宜选用红外灯作为光源。

5. 应根据现场环境照度变化情况,选择适合的宽动态范围的摄像机;监视目标的照度变化范围大或必须逆光摄像时,宜选用具有自动电子快门的摄像机。

6. 摄像机镜头安装宜顺光源方向对准监视目标,并宜避免逆光安装;当必须逆光安装时,宜降低监视区域的光照对比度或选用具有帘栅作用等具有逆光补偿的摄像机。

7. 摄像机的工作温度、湿度应适应现场气候条件的变化,必要时可采用适应环境条件的防护罩。

8. 选择数字型摄像机应符合《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395—2007)第3.0.5条,第5.0.2条,第5.0.3条,第5.0.4条第2、8款,第5.0.5条,第5.0.6条,第5.0.10条的规定。

9. 摄像机应有稳定牢固的支架;摄像机应设置在监视目标区域附近不易受外界损伤的位置,设置位置不应影响现场设备运行和人员正常活动,同时保证摄像机的视野范围满足监视的要求。

设置的高度,室内距地面不宜低于2.5m;室外距地面不宜低于3.5m。室外如采用立杆安装,立杆的强度和稳定度应满足摄像机的使用要求。

10. 电梯轿厢内的摄像机应设置在电梯轿厢门侧顶部左或右上角,并能有效监视乘员的体貌特征。

6.0.2 镜头的选型与设置应符合以下规定(见图15-6):

1. 镜头像面尺寸应与摄像机靶面尺寸相适应,镜头的接口与摄像机的接口配套。

2. 用于固定目标监视的摄像机,可选用固定焦距镜头,监视目标离摄像机距离较大时可选用长焦镜头;在需要改变监视目标的观察视角或视场范围较大时应选用变焦距镜头;监视目标离摄像机距离近且视角较大时可选用广角镜头。

3. 镜头焦距的选择根据视场大小和镜头到监视目标的距离等来确定,可参照如下公式计算:

$$f=A\times L/H \tag{15-2}$$

式中 f——焦距(mm);

A——像场高/宽(mm);

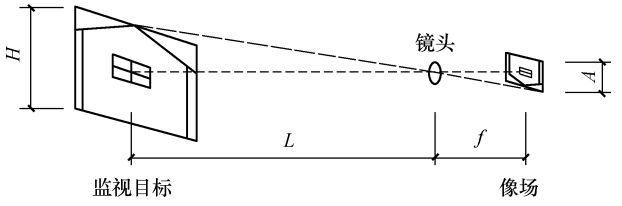


图 15-6 光学成像关系图

L——镜头到监视目标的距离(mm)；

H——视场高/宽(mm)。

4. 监视目标环境照度恒定或变化较小时宜选用手动可变光圈镜头。

5. 监视目标环境照度变化范围高低相差达到 100 倍以上，或昼夜使用的摄像机应选用自动光圈或遥控电动光圈镜头。

6. 变焦镜头应满足最大距离的特写与最大视场角观察需求，并宜选用具有自动光圈、自动聚焦功能的变焦镜头。变焦镜头的变焦和聚焦响应速度应与移动目标的活动速度和云台的移动速度相适应。

7. 摄像机需要隐蔽安装时应采取隐蔽措施，镜头宜采用小孔镜头或棱镜镜头。

6.0.3 云台/支架的选型与设置应符合以下规定：

1. 根据使用要求选用云台/支架，并与现场环境相协调。

2. 监视对象为固定目标时，摄像机宜配置手动云台即万向支架。

3. 监视场景范围较大时，摄像机应配置电动遥控云台，所选云台的负荷能力应大于实际负荷的 1.2 倍；云台的工作温度、湿度范围应满足现场环境要求。

4. 云台转动停止时应具有良好的自锁性能，水平和垂直转角回差不应大于 1°。

5. 云台的运行速度(转动角速度)和转动的角度范围，应与跟踪的移动目标和搜索范围相适应。

6. 室内型电动云台在承受最大负载时，机械噪声声强级不应大于 50dB。

7. 根据需要可配置快速云台或一体化遥控摄像机(含内置云台等)。

6.0.4 防护罩的选型与设置应符合以下规定：

1. 根据使用要求选用防护罩，并应与现场环境相协调。

2. 防护罩尺寸规格应与摄像机、镜头等相配套。

6.0.5 传输设备的选型与设置除应符合现行国家标准《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)的相关规定外，还要符合下列规定：

1. 传输设备应确保传输带宽、载噪比和传输时延满足系统整体指标的要求，接口应适应前后端设备的连接要求。

2. 传输设备应有自身的安全防护措施，并宜具有防拆报警功能；对于需要保密传输的信号，设备应支持加/解密功能。

3. 传输设备应设置于易于检修和保护的区域，并宜靠近前/后端的视频设备。

6.0.6 视频切换控制设备的选型应符合以下规定：

1. 视频切换控制设备的功能配置应满足使用和冗余要求。

2. 视频输入接口的最低路数应留有一定的冗余量。

3. 视频输出接口的最低路数应根据安全管理需求和显示、记录设备的配置数量确定。

4. 视频切换控制设备应能手动或自动操作，对镜头、电动云台等的各种动作(如转向、

变焦、聚焦、光圈等动作)进行遥控。

5. 视频切换控制设备应能手动或自动编程切换,对所有输入视频信号在指定的监视器上进行固定或时序显示。

6. 视频切换控制设备应具有配置信息存储功能,在供电中断或关机后,对所有编程设置、摄像机号、地址、时间等均可记忆,在开机或电源恢复供电后,系统应恢复正常工作。

7. 视频切换控制设备应具有与外部其他系统联动的接口。

当与报警控制设备联动时应能切换出相应部位摄像机的图像,并显示记录。

8. 具有系统操作密码权限设置和中文菜单显示。

9. 具有视频信号丢失报警功能。

10. 当系统有分控要求时,应根据实际情况分配控制终端如控制键盘及视频输出接口等,并根据需要确定操作权限功能。

11. 大型综合安防系统宜采用多媒体技术,做到文字、动态报警信息、图表、图像、系统操作在同一套计算机上完成。

6.0.7 记录与回放设备的选型与设置应符合以下规定:

1. 宜选用数字录像设备,并宜具备防篡改功能;其存储容量和回放的图像(和声音)质量应满足相关标准和管理使用要求。

2. 在同一系统中,对于磁带录像机和记录介质的规格应一致。

3. 录像设备应具有联动接口。

4. 在录像的同时需要记录声音时,记录设备应能同步记录图像和声音,并可同步回放。

5. 图像记录与查询检索设备宜设置在易于操作的位置。

6.0.8 数字视频音频设备的选型与设置应符合以下规定:

1. 视频探测、传输、显示和记录等数字视频设备符合《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395—2007)第3.0.5条,第5.0.2条,第5.0.3条,第5.0.4条第2、8款,第5.0.5条,第5.0.6条,第5.0.10条的规定。

2. 宜具有联网和远程操作、调用的能力。

3. 数字视频音频处理设备,其分析处理的结果应与原有视频音频信号对应特征保持一致。其误判率应在可接受的范围内。

6.0.9 显示设备的选型与设置应符合以下规定:

1. 选用满足现场条件和使用要求的显示设备。

2. 显示设备的清晰度不应低于摄像机的清晰度,宜高出100TVL。

3. 操作者与显示设备屏幕之间的距离宜为屏幕对角线的4～6倍,显示设备的屏幕尺寸宜为230～635mm。根据使用要求可选用大屏幕显示设备等。

4. 显示设备的数量由实际配置的摄像机数量和管理要求来确定。

5. 在满足管理需要和保证图像质量的情况下,可进行多画面显示。多台显示设备同时显示时,宜安装在显示设备柜或电视墙内,以获取较好的观察效果。

6. 显示设备的设置位置应使屏幕不受外界强光直射。当有不可避免的强光入射时,应采取相应避光措施。

7. 显示设备的外部调节旋钮/按键应方便操作。

8. 显示设备的设置应与监控中心的设计统一考虑,合理布局,方便操作,易于维修。

6.0.10 控制台的选型与设置应符合以下规定:

1. 根据现场条件和使用要求，选用适合形式的控制台。

2. 控制台的设计应满足人机工程学要求；控制台的布局、尺寸、台面及座椅的高度应符合现行国家标准《电子设备控制台的布局、形式和基本尺寸》(GB 7269—2008)的规定。

15.3.3 入侵报警系统工程设计

15.3.3.1 一般要求

《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)

规范引用

3.0.1 入侵报警系统工程的设计应符合国家现行标准《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)和《入侵报警系统技术要求》(GA/T 368—2001)的相关规定。

3.0.2 入侵报警系统工程的设计应综合应用电子传感(探测)、有线/无线通信、显示记录、计算机网络、系统集成等先进而成熟的技术，配置可靠而适用的设备，构成先进、可靠、经济、适用、配套的入侵探测报警应用系统。

3.0.3 入侵报警系统中使用的设备必须符合国家法律法规和现行强制性标准的要求，并经法定机构检验或认证合格。

3.0.4 入侵报警系统工程的设计应遵循以下原则：

1. 根据防护对象的风险等级和防护级别、环境条件、功能要求、安全管理要求和建设投资等因素，确定系统的规模、系统模式及应采取的综合防护措施。

2. 根据建设单位提供的设计任务书、建筑平面图和现场勘察报告，进行防区的划分，确定探测器、传输设备的设置位置和选型。

3. 根据防区的数量和分布、信号传输方式、集成管理要求、系统扩充要求等，确定控制设备的配置和管理软件的功能。

4. 系统应以规范化、结构化、模块化、集成化的方式实现，以保证设备的互换性。

3.0.5 入侵报警系统工程的设计流程与设计深度应符合《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)附录 A 的规定。设计文件应准确、完整、规范。

15.3.3.2 入侵报警系统工程的构成

《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)

规范引用

4.0.1 入侵报警系统通常由前端设备(包括探测器和紧急报警装置)、传输设备、处理/控制/管理设备和显示/记录设备四个部分构成。

4.0.2 根据信号传输方式的不同，入侵报警系统组建模式宜分为以下模式：

1. 分线制：探测器、紧急报警装置通过多芯电缆与报警控制主机之间采用一对一专线相连(则图 15-7)。

2. 总线制：探测器、紧急报警装置通过其相应的编址模块与报警控制主机之间采用报警总线(专线)相连(见图 15-8)。

3. 无线制：探测器、紧急报警装置通过其相应的无线设备与报警控制主机通信，其中一个防区内的紧急报警装置不得大多 4 个(见图 15-9)。

4. 公共网络：探测器、紧急报警装置通过现场报警控制设备和/或网络传输接入设备与报警控制主机之间采用公共网络相连。公共网络可以是有线网络，也可以是有线—无线—

有线网络(见图 15-10)。

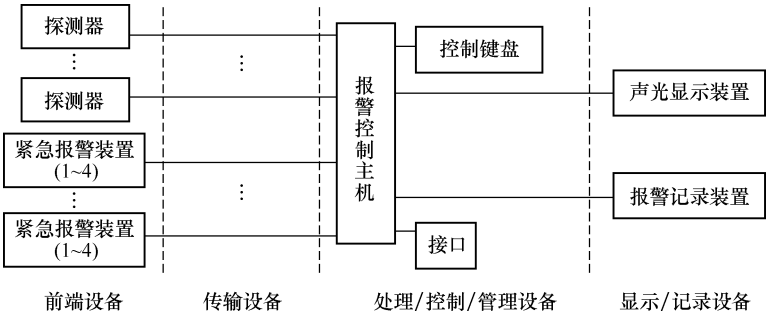


图 15-7 分线制模式

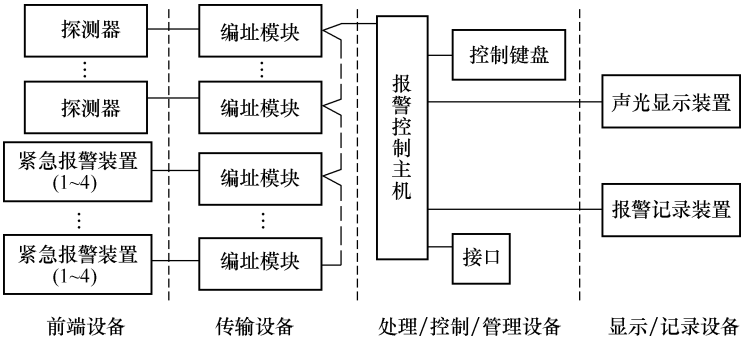


图 15-8 总线制模式

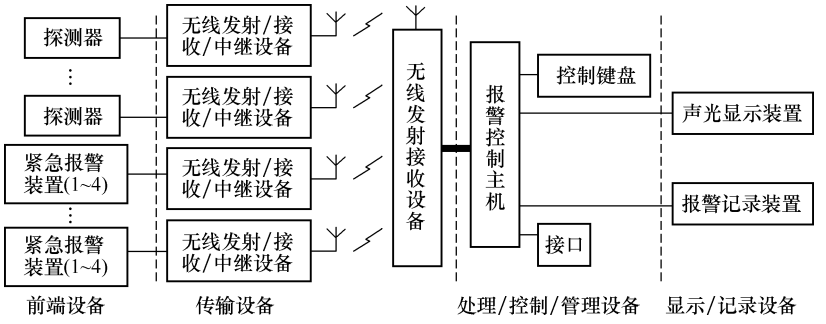


图 15-9 无线制模式

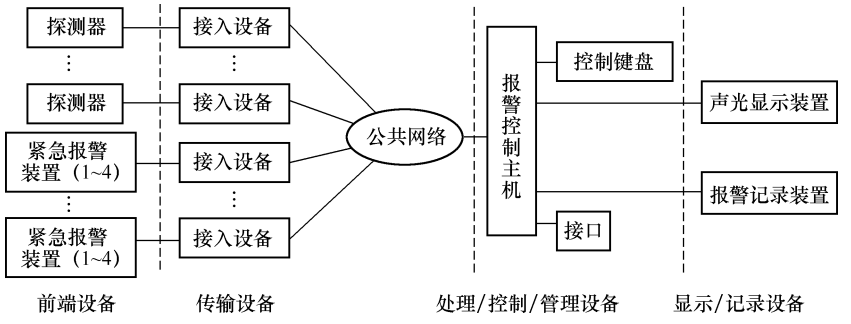


图 15-10 公共网络模式

注:以上四种模式可以单独使用,也可以组合使用;可单级使用,也可多级使用。

15.3.3.3 入侵报警系统工程的设计

《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)

规范引用

5.1 纵深防护体系设计

5.1.1 入侵报警系统的设计应符合整体纵深防护和局部纵深防护的要求,纵深防护体系包括周界、监视区、防护区和禁区。

5.1.2 周界可根据整体纵深防护和局部纵深防护的要求分为外周界和内周界。周界应构成连续无间断的警戒线(面)。周界防护应采用实体防护或/和电子防护措施;采用电子防护时,需设置探测器;当周界有出入口时,应采取相应的防护措施。

5.1.3 监视区可设置警戒线(面),宜设置视频安防监控系统。

5.1.4 防护区应设置紧急报警装置、探测器,宜设置声光显示装置,利用探测器和其他防护装置实现多重防护。

5.1.5 禁区应设置不同探测原理的探测器,应设置紧急报警装置和声音复核装置,通向禁区的出入口、通道、通风口、天窗等应设置探测器和其他防护装置,实现立体交叉防护。

5.1.6 被防护对象的设防部位应符合现行国家标准《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)的相关要求。

5.2 系统功能性能设计

5.2.1 入侵报警系统的误报警率应符合设计任务书和/或工程合同书的要求。

5.2.2 入侵报警系统不得有漏报警。

5.2.3 入侵报警功能设计应符合下列规定:

1. 紧急报警装置应设置为不可撤防状态,应有防误触发措施,被触发后应自锁。

2. 当下列任何情况发生时,报警控制设备应发出声、光报警信息,报警信息应能保持到手动复位,报警信号应无丢失:

1)在设防状态下,当探测器探测到有入侵发生或触动紧急报警装置时,报警控制设备应显示出报警发生的区域或地址;

2)在设防状态下,当多路探测器同时报警(含紧急报警装置报警)时,报警控制设备应依次显示出报警发生的区域或地址。

3. 报警发生后,系统应能手动复位,不应自动复位。

4. 在撤防状态下,系统不应对探测器的报警状态做出响应。

5.2.4 防破坏及故障报警功能设计应符合下列规定:

当下列任何情况发生时,报警控制设备上应发出声、光报警信息,报警信息应能保持到手动复位,报警信号应无丢失:

1. 在设防或撤防状态下,当入侵探测器机壳被打开时。

2. 在设防或撤防状态下,当报警控制器机盖被打开时。

3. 在有线传输系统中,当报警信号传输线被断路、短路时。

4. 在有线传输系统中,当探测器电源线被切断时。

5. 当报警控制器主电源/备用电源发生故障时。

6. 在利用公共网络传输报警信号的系统中,当网络传输发生故障或信息连续阻塞超过30s时。

5.2.5 记录显示功能设计应符合下列规定：

1. 系统应具有报警、故障、被破坏、操作(包括开机、关机、设防、撤防、更改等)等信息的显示记录功能。

2. 系统记录信息应包括事件发生时间、地点、性质等，记录的信息应不能更改。

5.2.6 系统应具有自检功能。

5.2.7 系统应能手动/自动设防/撤防，应能按时间在全部及部分区域任意设防和撤防；设防、撤防状态应有明显不同的显示。

5.2.8 系统报警响应时间应符合下列规定：

1. 分线制、总线制和无线制入侵报警系统：不大于2s；

2. 基于局域网、电力网和广电网的入侵报警系统：不大于2s。

3. 基于市话网电话线入侵报警系统：不大于20s。

5.2.9 系统报警复核功能应符合下列规定：

1. 当报警发生时，系统宜能对报警现场进行声音复核。

2. 重要区域和重要部位应有报警声音复核。

5.2.10 无线入侵报警系统的功能设计，除应符合《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)第5.2.1～5.2.9条的要求外，尚应符合下列规定：

1. 当探测器进入报警状态时，发射机应立即发出报警信号，并应具有重复发射报警信号的功能。

2. 控制器的无线收发设备宜具有同时接收处理多路报警信号的功能。

3. 当出现信道连续阻塞或干扰信号超过30s时，监控中心应有故障信号显示。

4. 探测器的无线报警发射机应有电源欠压本地指示，监控中心应有欠压报警信息。

15.3.3.4 设备选型与设置



《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)



6.1 探测设备

6.1.1 探测器的选型除应符合《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)第3.0.3条的规定外，尚应符合下列规定：

1. 根据防护要求和设防特点选择不同探测原理、不同技术性能的探测器。多技术复合探测器应视为一种技术的探测器。

2. 所选用的探测器应能避免各种可能的干扰，减少误报，杜绝漏报。

3. 探测器的灵敏度、作用距离、覆盖面积应能满足使用要求。

6.1.2 周界用入侵探测器的选型应符合下列规定：

1. 规则的外周界可选用主动式红外入侵探测器、遮挡式微波入侵探测器、振动入侵探测器、激光式探测器、光纤式周界探测器、振动电缆探测器、泄漏电缆探测器、电场感应式探测器、高压电子脉冲式探测器等。

2. 不规则的外周界可选用振动入侵探测器、室外用被动红外探测器、室外用双技术探测器、光纤式周界探测器、振动电缆探测器、泄漏电缆探测器、电场感应式探测器、高压电子脉冲式探测器等。

3. 无围墙/栏的外周界可选用主动式红外入侵探测器、遮挡式微波入侵探测器、激光式

探测器、泄漏电缆探测器、电场感应式探测器、高压电子脉冲式探测器等。

4. 内周界可选用室内用超声波多普勒探测器、被动红外探测器、振动入侵探测器、室内用被动式玻璃破碎探测器、声控振动双技术玻璃破碎探测器等。

6.1.3 出入口部位用入侵探测器的选型应符合下列规定：

1. 外周界出入口可选用主动式红外入侵探测器、遮挡式微波入侵探测器、激光式探测器、泄漏电缆探测器等。

2. 建筑物内对人员、车辆等有通行时间界定的正常出入口(如大厅、车库出入口等)可选用室内用多普勒微波探测器、室内用被动红外探测器、微波和被动红外复合入侵探测器、磁开关入侵探测器等。

3. 建筑物内非正常出入口(如窗户、天窗等)可选用室内用多普勒微波探测器、室内用被动红外探测器、室内用超声波多普勒探测器、微波和被动红外复合入侵探测器、磁开关入侵探测器、室内用被动式玻璃破碎探测器、振动入侵探测器等。

6.1.4 室内用入侵探测器的选型应符合下列规定：

1. 室内通道可选用室内用多普勒微波探测器、室内用被动红外探测器、室内用超声波多普勒探测器、微波和被动红外复合入侵探测器等。

2. 室内公共区域可选用室内用多普勒微波探测器、室内用被动红外探测器、室内用超声波多普勒探测器、微波和被动红外复合入侵探测器、室内用被动式玻璃破碎探测器、振动入侵探测器、紧急报警装置等。宜设置两种以上不同探测原理的探测器。

3. 室内重要部位可选用室内用多普勒微波探测器、室内用被动红外探测器、室内用超声波多普勒探测器、微波和被动红外复合入侵探测器、磁开关入侵探测器、室内用被动式玻璃破碎探测器、振动入侵探测器、紧急报警装置等。宜设置两种以上不同探测原理的探测器。

6.1.5 探测器的设置应符合下列规定：

1. 每个/对探测器应设为一个独立防区。

2. 周界的每一个独立防区长度不宜大于200m。

3. 需设置紧急报警装置的部位宜不少于2个独立防区，每一个独立防区的紧急报警装置数量不应大于4个，且不同单元空间不得作为一个独立防区。

4. 防护对象应在入侵探测器的有效探测范围内，入侵探测器覆盖范围内应无盲区，覆盖范围边缘与防护对象间的距离宜大于5m。

5. 当多个探测器的探测范围有交叉覆盖时，应避免相互干扰。

6.1.6 常用入侵探测器的选型要求宜符合《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)附录B的规定。

6.2 控制设备

6.2.1 控制设备的选型除应符合《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)第3.0.3条的规定外，尚应符合下列规定：

1. 应根据系统规模、系统功能、信号传输方式及安全管理要求等选择报警控制设备的类型。

2. 宜具有可编程和联网功能。

3. 接入公共网络的报警控制设备应满足相应网络的入网接口要求。

4. 应具有与其他系统联动或集成的输入、输出接口。

6.2.2 控制设备的设置应符合下列规定：

1. 现场报警控制设备和传输设备应采取防拆、防破坏措施，并应设置在安全可靠的场所。

2. 不需要人员操作的现场报警控制设备和传输设备宜采取电子/实体防护措施。

3. 壁挂式报警控制设备在墙上的安装位置，其底边距地面的高度不应小于1.5m，如靠门安装时，宜安装在门轴的另一侧；如靠近门轴安装时，靠近其门轴的侧面距离不应小于0.5m。

4. 台式报警控制设备的操作、显示面板和管理计算机的显示器屏幕应避开阳光直射。

6.3 无线设备

6.3.1 无线报警的设备选型除应符合《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394—2007)第3.0.3条的规定外，尚应符合下列规定：

1. 载波频率和发射功率应符合国家相关管理规定。

2. 探测器的无线发射机使用的电池应保证有效使用时间不少于6个月，在发出欠压报警信号后，电源应能支持发射机正常工作7d。

3. 无线紧急报警装置应能在整个防范区域内触发报警。

4. 无线报警发射机应有防拆报警和防破坏报警功能。

6.3.2 接收机的位置应由现场试验确定，保证能接收到防范区域内任意发射机发出的报警信号。

6.4 管理软件

6.4.1 系统管理软件的选型除应符合《安全防范工程技术规范》(GB 50348—2004)等国家现行相关标准的规定外，尚应具有以下功能：

1. 电子地图显示，能局部放大报警部位，并发出声、光报警提示。

2. 实时记录系统开机、关机、操作、报警、故障等信息，并具有查询、打印、防篡改功能。

3. 设定操作权限，对操作(管理)员的登录、交接进行管理。

6.4.2 系统管理软件应汉化。

6.4.3 系统管理软件应有较强的容错能力，应有备份和维护保障能力。

6.4.4 系统管理软件发生异常后，应能在3s内发出故障报警。

15.3.4 出入口控制系统工程的设计要求

15.3.4.1 一般规定



《出入口控制系统工程设计规范》(GB 50396—2007)



3.0.1 出入口控制系统工程的设计应符合国家现行标准《安全防范工程技术规范》GB 50348—2004和《出入口控制系统技术要求》(GA/T 394—2002)的相关规定。

3.0.2 出入口控制系统的工程设计应综合应用编码与模式识别、有线/无线通信、显示记录、机电一体化、计算机网络、系统集成等技术，构成先进、可靠、经济、适用、配套的出入口控制应用系统。

3.0.3 出入口控制系统中使用的设备必须符合国家法律法规和现行强制性标准的要求，并经法定机构检验或认证合格。

3.0.4 出入口控制系统工程的设计，应符合下列要求：

1. 根据防护对象的风险等级和防护级别、管理要求、环境条件和工程投资等因素，确定系统规模和构成；根据系统功能要求、出入目标数量、出入权限、出入时间段等因素来确定系统的设备选型与配置。

2. 出入口控制系统的设置必须满足消防规定的紧急逃生时人员疏散的相关要求。

3. 供电电源断电时系统闭锁装置的启闭状态应满足管理要求。

4. 执行机构的有效开启时间应满足出入口流量及人员、物品的安全要求。

5. 系统前端设备的选型与设置，应满足现场建筑环境条件和防破坏、防技术开启的要求。

6. 当系统与考勤、计费及目标引导（车库）等一卡通联合设置时，必须保证出入口控制系统的安全性要求。

3.0.5 系统兼容性应满足设备互换的要求，系统可扩展性应满足简单扩容和集成的要求。

3.0.6 出入口控制系统工程的设计流程与深度应符合附录A（见原规范，下同）的规定。设计文件应准确、完整、规范。

15.3.4.2 出入口控制系统构成

《出入口控制系统工程设计规范》(GB 50396—2007)

4.0.1 出入口控制系统主要由识读部分、传输部分、管理/控制部分和执行部分以及相应的系统软件组成。系统有多种构建模式，可根据系统规模、现场情况、安全管理要求等合理选择。

4.0.2 出入口控制系统按其硬件构成模式可分为以下形式：

1. 一体型：出入口控制系统的各个组成部分通过内部连接、组合或集成在一起，实现出入口控制的所有功能（见图15-11）。

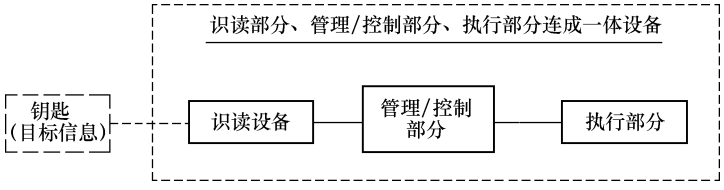


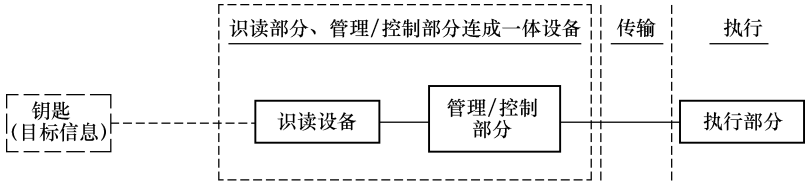
图15-11 一体型产品组成

2. 分体型：出入口控制系统的各个组成部分，在结构上有分开的部分，也有通过不同方式组合的部分。分开部分与组合部分之间通过电子、机电等手段连成为一个系统，实现出入口控制的所有功能（见图15-12a、b）。

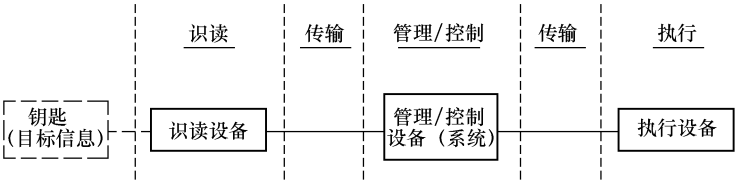
4.0.3 出入口控制系统按其管理/控制方式可分为以下型式：

1. 独立控制型：出入口控制系统，其管理与控制部分的全部显示/编程/管理/控制等功能均在一个设备（出入口控制器）内完成（见图15-13）。

2. 联网控制型：出入口控制系统，其管理与控制部分的全部显示/编程/管理/控制功能不在一个设备（出入口控制器）内完成。其中，显示/编程功能由另外的设备完成。设备之间



(a) 分体型结构组成之一



(b) 分体型结构组成之二

图 15-12 分体型结构组成

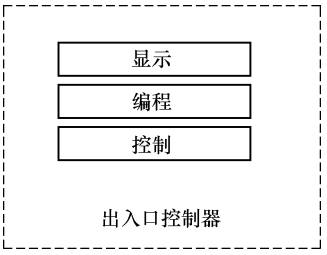


图 15-13 独立控制型组成

的数据传输通过有线和/或无线数据通道及网络设备实现(见图 15-14)。

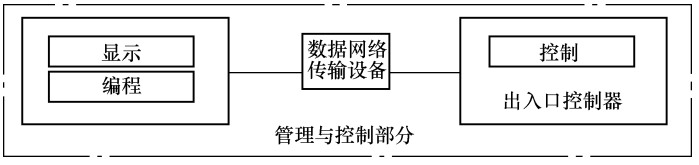


图 15-14 联网控制型组成

3. 数据载体传输控制型:出入口控制系统与联网型出入口控制系统区别仅在于数据传输的方式不同,其管理与控制部分的全部显示/编程/管理/控制等功能不是在一个设备(出入口控制器)内完成。其中,显示/编程工作由另外的设备完成。设备之间的数据传输通过对可移动的、可读写的数据载体的输入/导出操作完成(见图 15-5)。

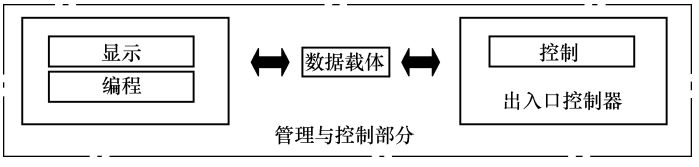


图 15-5 数据载体传输控制型组成

4.0.4 出入口控制系统按现场设备连接方式可分为以下形式:

1. 单出入口控制设备:仅能对单个出入口实施控制的单个出入口控制器所构成的控制设备(见图 15-16)。

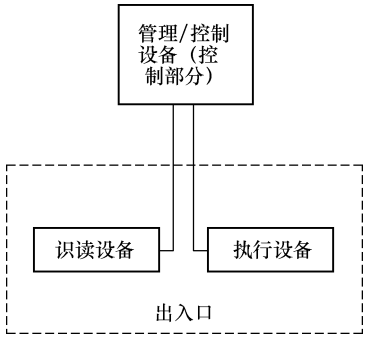


图 15-6 单出入口控制设备组成

2. 多出入口控制设备：能同时对两个以上出入口实施控制的单个出入口控制器所构成的控制设备（见图 15-7）。

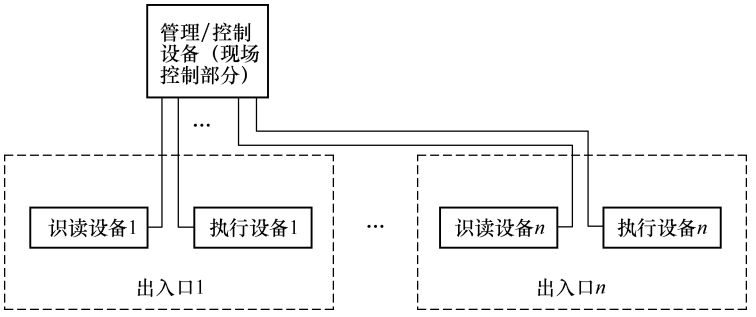


图 15-7 多出入口控制设备组成

4.0.5 出入口控制系统按联网模式可分为以下形式：

1. 总线制：出入口控制系统的现场控制设备通过联网数据总线与出入口管理中心的显示、编程设备相连，每条总线在出入口管理中心只有一个网络接口（见图 15-18）。

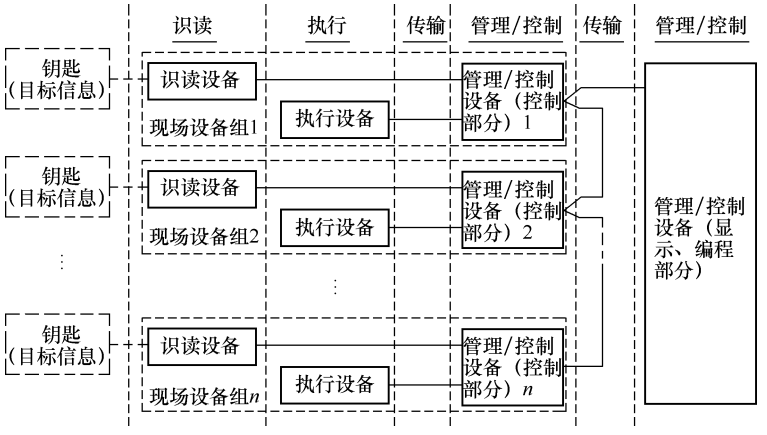


图 15-18 总线制系统组成

2. 环线制：出入口控制系统的现场控制设备通过联网数据总线与出入口管理中心的显示、编程设备相连，每条总线在出入口管理中心有两个网络接口，当总线有一处发生断线故障时，系统仍能正常工作，并可探测到故障的地点（见图 15-9）。

3. 单级网：出入口控制系统的现场控制设备与出入口管理中心的显示、编程设备的连接采用单一联网结构（见图 15-20）。

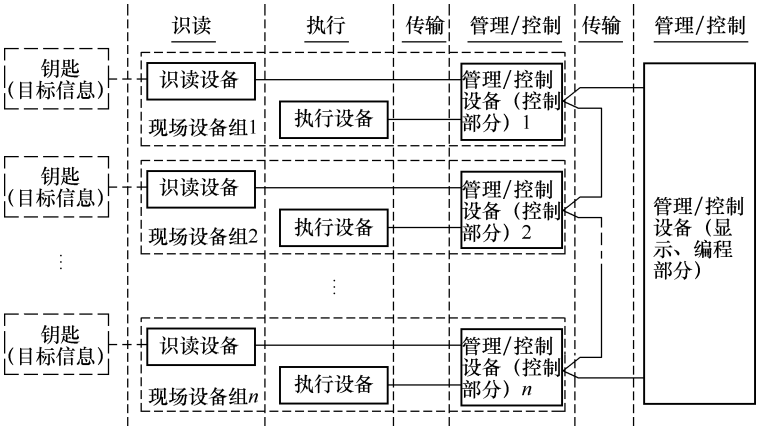


图 15-9 环线制系统组成

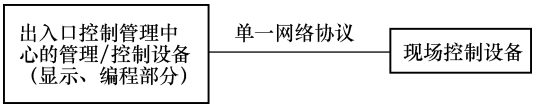


图 15-20 单级网系统组成

4. 多级网:出入口控制系统的现场控制设备与出入口管理中心的显示、编程设备的连接采用两级以上串联的联网结构,且相邻两级网络采用不同的网络协议(见图 15-21)。

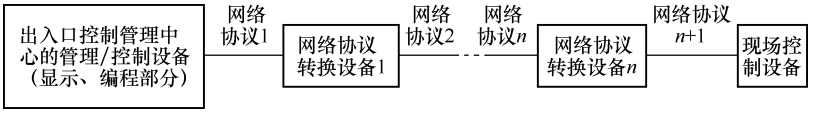


图 15-21 多级网系统组成

15.3.4.3 出入口控制系统设计

《出入口控制系统工程设计规范》(GB 50396—2007)

5.1 一般规定

5.1.1 系统的防护能力由所用设备的防护面外壳的防护能力、防破坏能力、防技术开启能力以及系统的控制能力、保密性等因素决定。系统设备的防护能力由低到高分为 A、B、C 三个等级,分级方法宜符合《出入口控制系统工程设计规范》(GB 50396—2007)附录 B 的规定。

5.1.2 系统响应时间应符合下列规定:

1. 系统的下列主要操作响应时间应不大于 2s。

1)在单级网络的情况下,现场报警信息传输到出入口管理中心的响应时间。

2)除工作在异地核准控制模式外,从识读部分获取一个钥匙的完整信息始至执行部分开始启闭出入口动作的时间。

3)在单级网络的情况下,操作(管理)员从出入口管理中心发出启闭指令始至执行部分开始启闭出入口动作的时间。

4)在单级网络的情况下,从执行异地核准控制后到执行部分开始启闭出入口动作的时间。

2. 现场事件信息经非公共网络传输到出入口管理中心的响应时间应不大于 5s。

5.1.3 系统计时、校时应符合下列规定：

1. 非网络型系统的计时精度应小于5s/d；网络型系统的中央管理主机的计时精度应小于5s/d，其他的与事件记录、显示及识别信息有关的各计时部件的计时精度应小于10s/d。

2. 系统与事件记录、显示及识别信息有关的计时部件应有校时功能；在网络型系统中，运行于中央管理主机的系统管理软件每天宜设置向其他的与事件记录、显示及识别信息有关的各计时部件校时功能。

5.1.4 系统报警功能分为现场报警、向操作(值班)员报警、异地传输报警等。报警信号应为声光提示。

5.1.5 在发生以下情况时，系统应报警：

1. 当连续若干次(最多不超过5次，具体次数应在产品说明书中规定)在目标信息识读设备或管理与控制部分上实施错误操作时。

2. 当未使用授权的钥匙而强行通过出入口时。

3. 当未经正常操作而使出入口开启时。

4. 当强行拆除和/或打开B、C级的识读现场装置时。

5. 当B、C级的主电源被切断或短路时。

6. 当C级的网络型系统的网络传输发生故障时。

5.1.6 系统应具有应急开启功能，可采用下列方法：

1. 使用制造厂特制工具采取特别方法局部破坏系统部件后，使出入口应急开启，且可迅即修复或更换被破坏部分。

2. 采取冗余设计，增加开启出入口通路(但不得降低系统的各项技术要求)以实现应急开启。

5.1.7 软件及信息保存应符合下列规定：

1. 除网络型系统的中央管理机外，需要的所有软件均应保存到固态存储器中。

2. 具有文字界面的系统管理软件，其用于操作、提示、事件显示等的文字应采用简体中文。

3. 当供电不正常、断电时，系统的密钥(钥匙)信息及各记录信息不得丢失。

4. 当系统与考勤、计费及目标引导(车库)等一卡通联合设置时，软件必须确保出入口控制系统的安全管理要求。

5.1.8 系统应能独立运行，并应能与电子巡查、入侵报警、视频安防监控等系统联动，宜与安全防范系统的监控中心联网。

5.2 各部分功能、性能设计

5.2.1 识读部分应符合下列规定：

1. 识读部分应能通过识读现场装置获取操作及钥匙信息并对目标进行识别，应能将信息传递给管理与控制部分处理，宜能接收管理与控制部分的指令。

2. “误识率”、“识读响应时间”等指标应满足管理要求。

3. 对识读装置的各种操作和接收管理/控制部分的指令等，识读装置应有相应的声和/或光提示。

4. 识读装置应操作简便，识读信息可靠。

5.2.2 管理/控制部分应符合下列规定：

1. 系统应具有对钥匙的授权功能，使不同级别的目标对各个出入口有不同的出入

权限。

2. 应能对系统操作(管理)员的授权、登录、交接进行管理,并设定操作权限,使不同级别的操作(管理)员对系统有不同的操作能力。

3. 事件记录:

1)系统能将出入事件、操作事件、报警事件等记录存储于系统的相关载体中,并能形成报表以备查看。

2)事件记录应包括时间、目标、位置、行为。其中时间信息应包含:年、月、日、时、分、秒,年应采用千年记法。

3)现场控制设备中的每个出入口记录总数:A级不小于32条,B、C级不小于1000条。

4)中央管理主机的事件存储载体,应至少能存储不少于180d的事件记录,存储的记录应保持最新的记录值。

5)经授权的操作(管理)员可对授权范围内的事件记录、存储于系统相关载体中的事件信息,进行检索、显示和/或打印,并可生成报表。

4. 与视频安防监控系统联动的出入口控制系统,应在事件查询的同时,能回放与该出入口相关联的视频图像。

5.2.3 执行部分功能设计应符合下列规定:

1. 闭锁部件或阻挡部件在出入口关闭状态和拒绝放行时,其闭锁力、阻挡范围等性能指标应满足使用、管理要求。

2. 出入准许指示装置可采用声、光、文字、图形、物体位移等多种指示。其准许和拒绝两种状态应易于区分。

3. 出入口开启时出入目标通过的时限应满足使用、管理要求。

15.3.4.4 设备选型与设置

《出入口控制系统工程设计规范》(GB 50396—2007)





6.0.1 设备选型应符合以下要求:

1. 防护对象的风险等级、防护级别、现场的实际情况、通行流量等要求。

2. 安全管理要求和设备的防护能力要求。

3. 对管理/控制部分的控制能力、保密性的要求。

4. 信号传输条件的限制对传输方式的要求。

5. 出入目标的数量及出入口数量对系统容量的要求。

6. 与其他子系统集成的要求。

6.0.2 设备的设置应符合下列规定:

1. 识读装置的设置应便于目标的识读操作。

2. 采用非编码信号控制和/或驱动执行部分的管理与控制设备,必须设置于该出入口的对应受控区、同级别受控区或高级别受控区内。

6.0.3 设备选型宜符合《出入口控制系统工程设计规范》(GB 50396—2007)附录B、附录C、附录D的要求。

15.3.5 电子巡查系统

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



14.5.1 电子巡查系统应根据建筑物的使用性质、功能特点及安全技术防范管理要求设置。对巡查实时性要求高的建筑物，宜采用在线式电子巡查系统。其他建筑物可采用离线式电子巡查系统。

14.5.2 巡查站点应设置在建筑物出入口、楼梯前室、电梯前室、停车库(场)、重点防范部位附近、主要通道及其他需要设置的地方。巡查站点设置的数量应根据现场情况确定。

14.5.3 巡查站点识读器的安装位置宜隐蔽，安装高度距地宜为 1.3～1.5m。

14.5.4 在线式电子巡查系统，应具有在巡查过程发生意外情况及时报警的功能。

14.5.5 在线式电子巡查系统宜独立设置，可作为出入口控制系统或入侵报警系统的内置功能模块而与其联合设置，配合识读器或钥匙开关，达到实时巡查的目的。

14.5.6 独立设置的在线式电子巡查系统，应与安全管理系统联网，并接受安全管理系统的管理与控制。

14.5.7 离线式电子巡查系统应采用信息识读器或其他方式，对巡查行动、状态进行监督和记录。巡查人员应配备可靠的通信工具或紧急报警装置。

14.5.8 巡查管理主机应利用软件，实现对巡查路线的设置、更改等管理，并对未巡查、未按规定路线巡查、未按时巡查等情况进行记录、报警。

15.3.6 停车库(场)管理系统

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



14.6.1 有车辆进出控制及收费管理要求的停车库(场)宜设置停车库(场)管理系统。

14.6.2 系统应根据安全技术防范管理的需要及用户的实际需求，合理配置下列功能：

1. 入口处车位信息显示、出口收费显示。
2. 自动控制出入挡车器。
3. 车辆出入识别与控制。
4. 自动计费与收费管理。
5. 出入口及场内通道行车指示。
6. 泊位显示与调度控制。
7. 保安对讲、报警。
8. 视频安防监控。
9. 车牌和车型自动识别、认定。
10. 多个出入口的联网与综合管理。
11. 分层(区)的车辆统计与车位显示。
12. 500 辆及以上的停车库(场)分层(区)的车辆查询服务。

其中 1～4 款为基本配置，其他为可选配置。

14.6.3 出、验票机或读卡器的选配应根据停车库(场)的使用性质确定，短期或临时用

户宜采用出、验票机管理方式;长期或固定用户宜采用读卡管理方式。当功能暂不明确或兼有的项目宜采用综合管理方式。

14.6.4 停车库(场)的入口区应设置出票读卡机,出口区应设置验票读卡机。停车库(场)的收费管理室宜设置在出口区。

14.6.5 读卡器宜与出票(卡)机和验票(卡)机合放在一起,安装在车辆出入口安全岛上,距栅栏门(挡车器)距离不宜小于2.2m,距地面高度宜为1.2～1.4m。

14.6.6 停车库(场)内所设置的视频安防监控或入侵报警系统,除在收费管理室控制外,还应在安防控制中心(机房)进行集中管理、联网监控。摄像机宜安装在车辆行驶的正前方偏左的位置,摄像机距地面高度宜为2.0～2.5m,距读卡器的距离宜为3～5m。

14.6.7 有快速进出停车库(场)要求时,宜采用远距离感应读卡装置。有一卡通要求时应与一卡通系统联网设计。

14.6.8 停车库(场)管理系统应具备先进、灵活、高效等特点,可利用免费卡、计次卡、储值卡等实行全自动管理,亦可利用临时卡实行人工收费管理。

14.6.9 车辆检测地感线圈宜为防水密封感应线圈,其他线路不得与地感线圈相交,并应与其保持不少于0.5m的距离。

14.6.10 自动收费管理系统可根据停车数量及出入口设置等具体情况,采用出口处收费或库(场)内收费两种模式。并应具有对人工干预、手动开闸等违规行为的记录和报警功能。

14.6.11 停车库(场)管理系统宜独立运行,亦可与安全管理系统联网。

15.3.7 住宅(小区)安全防范系统

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

14.7.1 住宅(小区)的安全技术防范系统宜包括周界安防系统、公共区域安防系统、家庭安防系统及监控中心。

14.7.2 住宅(小区)安全技术防范系统的配置标准宜符合表15-8的规定。

表15-8 住宅(小区)安全技术防范系统配置标准

系统名称	安防设施	住宅配置标准	别墅配置标准
周界安防系统	电子周界防护系统	宜设置	应设置
公共区域安防系统	电子巡查系统	应设置	应设置
	视频安防监控系统	可选项	
	停车库(场)管理系统		
家庭安防系统	访客对讲系统	应设置	应设置
	紧急求救报警装置		
	入侵报警系统	可选项	
监控中心	安全管理系统	各子系统宜联动设置	各子系统应联动设置
	可靠通信工具	必须设置	必须设置

14.7.3 周界安防系统设计应符合下列规定:

1. 电子周界安防系统应预留联网接口。

2. 别墅区周界宜设视频安防监控系统。

14.7.4 公共区域的安防系统设计应符合下列规定：

1. 电子巡查系统应符合下列规定：

1)住宅小区宜采用离线式电子巡查系统，别墅区宜采用在线式电子巡查系统；

2)离线式电子巡查系统的信息识读器安装高度宜为1.3～1.5m；

3)在线式电子巡查系统的管线宜采用暗敷。

2. 视频安防监控系统应符合下列规定：

1)住宅小区的主要出入口、主要通道、电梯轿厢、周界及重要部位宜安装监控摄像机；

2)室外摄像机的选型及安装应采取防水、防晒、防雷等措施；

3)视频安防监控系统应与监控中心计算机联网。

3. 住宅(小区)停车库(场)管理系统的设计，应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第14.6节的规定。

14.7.5 家庭安全防范系统设计应符合下列规定：

1. 访客对讲系统应符合下列规定：

1)别墅宜选用访客可视对讲系统；

2)主机宜安装在单元入口处防护门上或墙体内，安装高度宜为1.3～1.5m，室内分机宜安装在过厅或起居室内，安装高度宜为1.3～1.5m；

3)访客对讲系统应与监控中心主机联网。

2. 紧急求助报警装置应符合下列规定：

1)宜在起居室、卧室或书房不少于一处，安装紧急求助报警装置；

2)紧急求助信号应同时报至监控中心。

3. 入侵报警系统应符合下列规定：

1)可在住户室内、户门、阳台及外窗等处，选择性地安装入侵报警探测装置；

2)入侵报警系统应预留联网接口。

14.7.6 监控中心设计应符合下列规定：

1. 住宅小区安防监控中心应具有自身的安防设施。

2. 监控中心应对小区内的周界安防系统、公共区域安防系统、家庭安防系统等进行监控和管理。

3. 监控中心应配置可靠的有线或无线通信工具，并留有与接警中心联网的接口。

4. 监控中心可与住宅小区管理中心合用。

14.7.7 住宅(小区)安全技术防范系统设计，尚应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第14章其他各节的有关规定。

15.4 通信网络及系统的设计要求

15.4.1 概述

15.4.1.1 通信网络的构成

一个完整的电信网络应由终端设备、传输设备(包括线路)、交换设备三大部分组成。其

中,终端设备的主要功能是进行待发送的信息与信道上传送的信号之间的转换,产生和识别系统内的信令或协议。终端设备有电话机、PC 等;传输设备的主要功能是有效可靠地传输信号。交换设备的主要功能是完成信号的交换,交换还可以分为空分交换、时分交换、电路交换、分组交换等。以电话通信网络为例,终端设备为电话机,传输设备为用户线、中继线,交换设备为电话交换机。

上述三个部分构成一个电信网络的“硬件”。此外,还有一套“软件”,即各种规约,如信令、协议等。

15.4.1.2 通信网络的分类

通信网络的分类见表 15-9。

表 15-9 通信网络的分类

项目	内容	
按信道分类	有线通信网	借助于导线进行通信,如架空明线、电缆、光缆等
	无线通信网	借助于无线电波在自由空间的传输进行通信,如长波、中波、短波、微波等方式
按信号分类	模拟通信网	在网络内传输、交换和处理的信号全部为模拟信号
	数字通信网	在网络内传输、交换和处理的信号全部为数字信号
	数模混合网	在网络内传输、交换和处理的信号部分为数字信号,部分为模拟信号
按通信距离分类	长途通信网	如长途电话等
	本地通信网	如市内电话、郊区电话网等
	内部通信网	在校园或厂区用户电话交换机管辖范围内的网络
按信源分类	语音通信网	如电话通信
	数据通信网	如计算机通信
	文字通信网	如电报通信
	图像通信网	如闭路电视、传真通信等
按不同使用范围分类	公用通信网 即公用网	向全社会开放的通信网
	专用通信网	相对于公用通信网而言的,它是国防、军事或国民经济的某一专业部门,如铁道、航运、石油、水利、电力、广播电视等部门自建或向电信部门租用电路组成,专供本部门内部业务使用的电信网

15.4.2 数字程控用户电话交换机系统

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)



20.2.1 数字程控用户电话交换设备应根据使用需求,设置在行政机关、金融、商场、宾馆、文化、医院、学校等建筑物内。

20.2.2 数字程控用户电话交换设备应提供普通电话业务、ISDN 通信和 IP 通信等业务。

20.2.3 用户终端应通过数字程控用户电话交换设备与各公用通信网互通,实现语音、数据、图像、多媒体通信业务的需求。

20.2.4 数字程控用户交换机系统应符合下列要求：

1. 用户交换机系统应配置交换机、话务台、用户终端、终端适配器等配套设备以及应用软件。

2. 用户交换机应根据工程的需求，以模拟或数字中继方式，通过用户信令、中继随路信令或公共信道信令方式与公用电话网相连。

3. 数字程控用户交换机的用户侧和中继侧应具有下列基本接口，并符合下列规定：

1)用户侧接口应符合下列规定：

——用于连接模拟终端的二线模拟 Z 接口；

——用于连接数字终端的接口(专用数字终端、V24 等)；

——用于连接 IP 终端的接口(H.323 语音终端、SIP 等)。

2)中继侧接口应符合下列规定：

——用于接入公用 PSTN 端局的数字 A 接口或 B 接口(速率为 2048Kbps 或 8448Kbps)；

——用于接入公用 PSTN 端局的二线模拟 C_2 接口；

——用于接入公用 PSTN 端局的四线模拟 C_1 接口；

——用于接入公用 PSTN 端局的网络 H.323 或 SIP 接口。

20.2.5 ISDN 用户交换机(ISPBX)系统应符合下列要求：

1. ISDN 用户交换机应是公用综合业务数字网(N-ISDN)中的第二类网络终端(NT2 型)设备。

2. ISDN 用户交换机应具有基本的使用功能。

3. ISDN 用户交换机的用户侧和中继侧应根据工程的实际需求配置下列基本接口，并符合下列规定：

1)用户侧接口应符合下列规定：

——用于连接数字话机及 ISDN 标准终端的 S 接口(2B+D 接口)；

——用于连接 ISDN 标准终端的 S 接口(30B+D 接口)；

——用于连接网络终端 1(NT1)的 U 接口(2B+D 和 30B+D 接口)；

——用于连接模拟终端的 Z 接口；

——用于连接 IP 终端的接口(H.323 语音终端、SIP 等)。

2)中继侧接口应符合下列规定：

——用于接入公用 N-ISDN 端局的 T(2B+D)接口；

——用于接入公用 N-ISDN 端局的 T(30B+D)接口；

——用于接入公用 PSTN 端局(数字程控电话交换端局)的 E1 数字 A 接口(速率为 2048Kbps)；

——用于接入公用 PSTN 端局的网络 H.323 或 SIP 接口。

20.2.6 支持 VOIP 业务的 ISDN 用户交换机系统应符合下列要求：

1. 应具有 ISDN 用户交换机基本的和补充业务功能。

2. 应以 IP 网关方式与 IP 局域网或公用 IP 网络相连。

3. 应按工程的实际需求，在用户侧和中继侧配置下列基本接口，并符合下列规定：

1)用户侧接口应符合下列规定：

——用于连接 ISDN 用户交换机具有的基本用户侧接口；

——用于连接符合 H.323 标准的 VOIP 终端接口；

——用于连接符合 SIP 标准的 VOIP 终端接口。

2)中继侧接口应符合下列规定:

——用于接入公用 ISDN 端局的 T 接口;

——用于接入公用 PSTN 端局的 E1 数字 A 接口;

——用于接入 H.323 标准的公用 IP 网络的接口(H.323 接入网关);

——用于接入 SIP 标准的公用 IP 网络的接口(SIF 接入网关)。

20.2.7 数字程控用户交换机的选用应符合下列规定:

1. 用户交换机容量宜按下列要求确定:

1)用户交换机除应满足近期容量的需求外,尚应考虑中远期发展扩容以及新业务功能的应用;

2)用户交换机的实装内线分机的容量,不宜超过交换机容量的 80%;

3)用户交换机应根据话务基础数据,核算交换机内处理机的忙时呼叫处理能力(BHCA)。

2. 用户交换机中继类型及数量宜按下列要求确定:

1)用户交换机中继线宜采用单向(出、入分设)、双向(Hd、入合设)和单向及双向混合的三种中继方式接入公用网;

2)用户交换机中继线可按下列规定配置:

——当用户交换机容量小于 50 门时,宜采用 2～5 条双向出入中继线方式;

——当用户交换机容量为 50～500 门,中继线大于 5 条时,宜采用单向出入或部分单向出入、部分双向出入中继线方式;

——当用户交换机容量大于 500 门时,可按实际话务量计算出入中继线,宜采用单向出入中继线方式。

3)中继线数量的配置应根据用户交换机实际容量大小和出入局话务量大小等因素,可按用户交换机容量的 10%～15%确定。

3. 系统对当地电信业务经营者中继入网的方式应符合下列要求:

1)数字程控用户交换机中继入网的方式,应根据用户交换机的呼入、呼出话务量和本地电信业务经营者所具备的入网条件,以及建筑物(群)拥有者(管理者)所提的要求确定;

2)数字程控用户交换机进入公用电话网,可采用下列几种中继方式:

——全自动直拨中继方式(DOD_1+DID 和 DOD_2+DID 中继方式);

——半自动单向中继方式(DOD_1+BID 和 DOD_2+BID 中继方式);

——半自动双向中继方式(DOD_2+BID 中继方式);

——混合中继方式(DOD_2+BID+DID 和 DOD_1+BID+DID 中继方式);

——ISPBX 中的 ISDN 终端,对外交换采用全自动的直拨方式(DDI)。

20.2.8 程控用户交换机机房的选址、设计与布置,应符合下列规定:

1. 机房宜设置在建筑群内用户中心通信管线进出方便的位置。可设置在建筑物首层及以上各层,但不应设置在建筑物最高层。当建筑物有地下多层时,机房可设置在地下一层。

2. 当建筑物为投资方自用时,机房宜与建筑物内计算机主机房统筹考虑设置。

3. 机房位置的选择及机房对环境和土建等专业的要求,尚应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 23 章的有关规定。

4. 程控用户交换机机房的布置,应根据交换机的机架、机箱、配线架,以及配套设备配置情况、现场条件和管理要求决定。在交换机及配套设备尚未选型时,机房的使用面积宜符

合表 15-10 的规定。

表 15-10 程控用户交换机机房的使用面积

交换机容量数/门	交换机机房使用面积/m^2	交换机容量数/门	交换机机房使用面积/m^2
≤500	≥30	2001～3000	≥45
501～1000	≥35	3001～4000	≥55
1001～2000	≥40	4001～5000	≥70

注：①表中机房使用面积应包括话务台或话务员室、配线架(柜)、电源设备和蓄电池的使用面积；

②表中机房的使用面积不包括机房的备品备件维修室、值班室及卫生间的面积。

5. 程控用户交换机机房内设备布置应符合以近期为主、中远期扩充发展相结合的规定。

6. 话务台的布置应使话务员就地或通过话务员室观察窗正视或侧视交换机机柜的正面。

7. 总配线架或配线机柜室应靠近交换机室，以方便交换机中继线和用户线的进出。

8. 当交换机容量小于或等于 1000 门时，总配线架或配线机柜可与交换机机柜毗邻安装。

9. 机房的毗邻处可设置多家电信业务经营者的光、电传输设备以及宽带接入等设备的电信机房。

10. 交换机机柜及配套设备布置，尚应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 23.2 节的规定。

20.2.9 *程控用户交换机房的供电应符合下列要求：*

1. 机房电源的负荷等级与配置以及供电电源质量，应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 3.2 及 3.4 节的有关规定。

2. 当机房内通信设备有交流不间断和无瞬变供电要求时，应采用 UPS 不间断电源供电，其蓄电池组可设一组。

3. 通信设备的直流供电系统应由整流配电设备和蓄电池组组成，可采用分散或集中供电方式供电；当直流供电设备安装在机房内时，宜采用开关型整流器、阀控式密封铅酸蓄电池。

4. 通信设备的直流供电电源应采用在线充电方式，并以全浮充制运行。

5. 通信设备使用直流基础电源电压为－48V，其电压变动范围和杂音电压应符合表 15-11 的规定。

6. 当机房的交流电源不可靠或交换机对电源有特殊要求时，应增加蓄电池放电小时数。

7. 交换机设备的蓄电池的总容量应按下式计算：

$$Q \geqslant KIT/\eta[1+\alpha(t-25)] \tag{15-3}$$

式中 Q——蓄电池容量(Ah)；

K——安全系数，取 1.25；

I——负荷电流(A)；

T——放电小时数(h)，见表 15-12；

η——放电容量系数，见表 15-12；

t——实际电池所在地最低环境温度数值,所在地有采暖设备时,按15℃考虑,无采暖设备时,按5℃考虑;

α——电池温度系数(1/℃),当放电小时率≥10时,取$\alpha=0.006$,当10>放电小时率≥1时,取$\alpha=0.008$,当放电小时率<1时,取$\alpha=0.01$。

表15-11 基础电源电压变动范围和杂音电压要求

标准电压/V	电信设备受电端子上电压变动范围/V	电源杂音电压							
		衡重杂音电压		峰-峰值杂音电压		宽频杂音电压(有效值)		离散频率杂音(有效值)	
		频段/kHz	指标/mV	频段/kHz	指标/mV	频段/kHz	指标/mV	频段/kHz	指标/mV
48	-40～-57	300～3400	≤2	0～300	<R400	3.4～150	≤100	3.4～150	≤5
								150～200	≤3
						150～30000	≤3	200～500	≤2
								500～30000	≤1

表15-12 蓄电池放电容量系数(η)表

电池放电小时数/h		0.5		1		2	3	4	6	8	10	≥20
放电终止电压/V		1.70	1.75	1.75	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	≥1.85
放电容量系数	放酸电池	0.35	0.30	0.50	0.40	0.61	0.75	0,79	0.88	0.94	1.00	1.00
	阀控电池	0.45	0.40	0.55	0.45	0.61	0.75	0.79	0.88	0.94	1.00	1.00

8. 机房内蓄电池组电池放电小时数,应按机房供电电源负荷等级确定。

20.2.10 防雷与接地应符合下列规定:

1. 交换机系统的防雷与接地,应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第11、12、23章的有关规定。

2. 数字程控交换机系统接地电阻值,应根据该系统产品接地要求确定。

15.4.3 数字程控调度交换机系统

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

20.3.1 数字程控调度交换机容量小于或等于60门时,宜采用具有调度软件功能模块的数字程控用户交换机。

20.3.2 数字程控调度交换机容量大于60门时,宜设置专用的数字程控调度交换机设备。

20.3.3 数字程控调度交换机应符合下列规定:

1. 数字程控调度交换机系统应由调度交换机、调度台、调度分机或终端等配套设备及其应用软件构成。

2. 数字程控调度交换机除应具有调度业务的功能外,尚应同时保留数字程控用户交换机的基本功能。

3. 数字程控调度交换机容量大于128门时,宜采用热备份结构,并应具备组网与远端维

护功能。

4. 数字程控调度交换机的基本功能应符合下列要求：

1)应调度呼叫用户或用户呼叫调度无链路阻塞；

2)应对公用网、专用网及分机用户电话进行调度和控制复原；

3)应对每个用户进行等级设置；

4)可设置多个中继局向，接至公用网或专用网；

5)应能实时同步录音；

6)应能与无线通信设备联网；

7)应能与计算机网络联网；

8)应有统一的实时时钟管理。

5 调度话务台的基本功能应符合下列要求：

1)控制支配权，调度台话机具有最高优先权；

2)调度通话应优先，任何用户在摘机、通话或拨号状态，调度均可直呼用户、中继，用户、中继可直呼或热线呼叫调度台；

3)应能实现监听、强插、强拆正在进行内部通话的调度专线电话分机；

4)应能将普通电话分机改为调度专线电话分机；

5)应具有“功能键”和“用户键”两大类操作键，供调度员使用；

6)应具有单呼、组呼、电话会议功能；

7)应能对调度员的姓名、工号、操作权限口令、操作时间进行核对与记录。

20.3.4 数字程控调度交换机的用户侧和中继侧应根据工程的实际需求，配置下列基本接口，并符合下列规定：

1. 用户侧接口应符合下列规定：

1)用于连接模拟终端的二线模拟 Z 接口；

2)用于连接数字话机及调度台的 2B+D 接口；

3)用于连接符合 H.323 标准的 VOIP 终端接口；

4)用于连接符合 SIP 标准的 VOIP 终端接口。

2. 中继侧接口应符合下列规定：

1)用于接入公用 N-ISDN 端局的 2B+D 的接口；

2)用于接入公用 N-ISDN 端局的 30B+D 的接口；

3)用于接入公用 PSTN 端局的 E1 数字 A 接口(速率为 2048Kbps)；

4)用于接入公用 PSTN 端局的二线模拟 C 接口；

5)用于接入符合 H.323 标准的公用计算机网络的接口(H.323 接入网关)；

6)用于接入符合 SIP 标准的公用计算机网络的接口(SIP 接入网关)。

20.3.5 数字程控调度交换机进入公用网或专网的方式应符合下列规定：

1. 当采用数字中继方式入网时，调度交换机配置的数字中继，宜采用 30B+DPRA 或 E1(2048Kbps)PCM 接口接至本地电话网的汇接局或端局交换机上，其信令采用 ISDN“Q”信令系统或 7 号信令系统，并应具备兼容中国 1 号信令系统的能力。

2. 当采用二线环路中继方式入网时，其信令应采用用户信令系统。

20.3.6 数字程控调度交换机的设备用房、供电及接地要求，应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 20.2.8～20.2.10 条的规定。

15.4.4 计算机网络系统

15.4.4.1 计算机网络设计原则

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

19.2.1 计算机网络系统应在进行用户调查和需求分析的基础上,进行网络逻辑设计和物理设计。

19.2.2 用户调查宜包括用户的业务性质与网络的应用类型及数据流量需求、用户规模及前景、环境要求和投资概算等内容。

19.2.3 网络需求分析应包括功能需求和性能需求两方面。

网络功能需求分析用以确定网络体系结构,内容宜包括网络拓扑结构与传输介质、网络设备的配置、网络互联和广域网接入。

网络性能需求分析用以确定整个网络的可靠性、安全性和可扩展性,内容宜包括网络的传输速率、网络互联和广域网接入效率及网络冗余程度和网络可管理程度等。

19.2.4 网络逻辑设计应包括确定网络类型、网络管理与安全性策略、网络互联和广域网接口等。

19.2.5 网络物理设计应包含网络体系结构和网络拓扑结构的确定、网络介质的选择和网络设备的配置等。

19.2.6 局域网宜采用基于服务器/客户端的网络,当网络中用户少于10个节点时可采用对等网络。

19.2.7 网络体系结构的选择应符合下列规定:

1. 网络体系结构宜采用基于铜缆的快速以太网(100Base-T);基于光缆的千兆位以太网(1000Base-SX、1000Base-LX);基于铜缆的千兆位以太网(1000Base-T、1000Base-TX)和基于光缆的万兆位以太网(10GBase-X)。

2. 在需要传输大量视频和多媒体信号的主干网段,宜采用千兆位(1000Mbps)或万兆位(10Gbps)以太网,也可采用异步传输模式ATM。

19.2.8 网络中使用的服务器应至少能够处理文件、程序及数据储存;响应网络服务请求;网络应用策略控制;网络管理及运行网络后台应用等一项任务。

19.2.9 服务器(如CPU、内存和硬盘等)的配置应能满足其处理数据的需要,并具有高稳定性和可扩展能力。

19.2.10 服务器宜集中设置。当网络应用有业务分类管理需要时,可分布设置服务器。

15.4.4.2 网络连接部件的配置

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

19.4.1 网络连接部件应包括网络适配器(网卡)、交换机(集线器)和路由器。

19.4.2 网卡的选择必须与计算机接口类型相匹配,并与网络体系结构相适应。

19.4.3 网络交换机的类型必须与网络的体系结构相适应,在满足端口要求的前提下,可按下列规定配置:

1. 小型网络可采用独立式网络交换机。

2. 大、中型网络宜采用堆叠式或模块化网络交换机。

19.4.4 当具有下列情况时，应采用路由器或第3层交换机：

1. 局域网与广域网的连接。

2. 两个局域网的广域网相连。

3. 局域网互联。

4. 有多个子网的局域网中需要提供较高安全性和遏制广播风暴时。

19.4.5 当局域网与广域网相连时，可采用支持多协议的路由器。

19.4.6 在中大型规模的局域网中宜采用可管理式网络交换机。交换机的设置应根据网络中数据的流量模式和处理的任务确定，并应符合下列规定：

1. 接入层交换机应采用支持VLAN划分等功能的独立式或可堆叠式交换机，宜采用第2层交换机。

2. 汇接层交换机应采用具有链路聚合、VLAN路由、组播控制等功能和高速上连端口的交换机，可采用第2层或第3层交换机。

3. 核心层交换机应采用高速、高带宽、支持不同网络协议和容错结构的机箱式交换机，并应具有较大的背板带宽。

19.4.7 各层交换机链路设计应符合下列规定：

1. 汇接层与接入层交换机之间可采用单链路或冗余链路连接。

2. 在容错网络结构中，汇接层交换机之间、汇接层与接入层交换机之间应采用冗余链路连接，并应生成树协议阻断冗余链路，防止环路的产生。

3. 在紧缩核心网络中，每台接入层交换机与汇接层交换机之间，宜采用冗余链路连接。

4. 在多核心网络中，每台汇接层交换机与每台核心层交换机之间，宜采用冗余链路连接。核心层交换机之间不得链接，避免桥接环路。

15.4.4.3 网络应用

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

19.7.1 网络应用应包括单位内部办公自动化系统、单位内部业务、对外业务、互联网接入、网络增值服务等几种类型。计算机网络系统的设计，宜符合网络应用的需求。

19.7.2 当网络有多种应用需求时，宜构建适应各种应用需求的共用网络，设置相应的服务器，并应采取安全性措施保护内部应用网络的安全。

19.7.3 当内部网络数据有高度安全性要求时，应采取物理隔离措施隔离内部、外部网络，并应符合安全部门的有关规定。

19.7.4 在子网多而分散，主干和广域网数据流量大的计算机网络中，宜采用网络分段和子网数据驻留的方式控制流经主干上的数据流，提高主干的传输速率。

19.7.5 服务器应根据其执行的任务而合理配置。在执行办公自动化系统任务的网络中宜设置文件和打印服务器、邮件服务器、Web服务器、代理服务器及目录服务器。

19.7.6 当公共建筑物中或建筑物的公共区域符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第19.3.4条规定时，宜采用无线局域网。

19.7.7 计算机网络系统设计，其网络结构、网络连接部件的配置及传输介质的选择应

符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第 19.3 节和 19.4 节的要求。

15.4.5 卫星通信系统

15.4.5.1 卫星通信

卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发无线电波,在两个或多个地球站之间进行的通信。

目前,卫星通信已成为远距离、全球通信的主要手段之一。它的通信业务已从简单的电报、电话,发展到电话、电视、数据传输、传真、综合业务数字网、导航定位、应急通信等诸领域。站址从固定发展到移动,信号特征从模拟到数字,用户从民用到军用,成为各种用户不可缺少的通信手段之一。

15.4.5.2 卫星通信的特点

与其他通信手段相比,卫星通信具有以下特点:

(1)通信距离远,且费用与通信距离无关。

(2)通道特性稳定,图像质量好。

(3)覆盖面积大,可进行多址通信。

(4)通信频带宽、传输容量大。

(5)机动灵活。

(6)通信线路稳定、可靠,传输质量高。

15.4.5.3 卫星通信系统工作频率段

目前大多数卫星通信系统是选择在以下频段工作的:UHF 波段——S 波段,4.0/2.5GHz;L 波段,1.6/1.5GHz;C 波段,6/4GHz;X 波段,8/7GHz;Ku 波段,14/11GHz,14/12GHz;Ka 波段,30/20GHz。

15.4.5.4 VSAT 卫星通信系统

VSAT 的中文含义是"甚小口径天线地球站"。它是由天线尺寸小于 2.4m、G/T 值低于 9.7dB/K、设备紧凑、全固态化、功耗小、价格低廉的卫星用户小站和一个枢纽站组成的通信网,主要用来进行 2Mbps 以下的低速数据双向通信。

我国 VSAT 系统通常使用 Ku 频段和 C 频段。Ku 频段 VSAT 天线口径一般在 1.2～18m 之间;C 频段 VSAT 天线口径一般在 1.8～3m 之间。一个典型的 VSAT 系统是由许多智能化小型地球站、一个(或数个)大的主站构成的。空中的通信卫星为中继,VSAT 可与主站或其他 VSAT 通信,提供信息业务。

(1)主站(或称中心站)。

它是 VSAT 网的管理控制中心。它与普通地球站一样,使用大型天线,其天线直径 Ku 频段一般在 3.5～8m;Cu 频段一般为 7～13m,配有高功率放大器、低噪声放大器和上下变频器、调制解调器及数据接口设备等。

主站设有网络控制中心,负责对全网监测、管理、控制和维护。并实时监测、诊断各小站和主站自身的工作状况,以及测试信道质量、负责信道分配、统计、计费等。

(2)小站。

小站(VSAT)由小口径天线、建筑的室外单元和室内单元三部分组成。

小站(VSAT)天线有正馈和偏馈两种形式。正馈天线尺寸较大,偏馈天线尺寸小,增益

高、旁瓣小。室外单元主要包括固态功放、低噪声放大、变频组件、上下变频器、正交模耦合器等。室外单元安装在天线反射面焦点处。室内单元由调制解调器与基带处理单元功能强的微处理器组成，安装在大厦建筑内与用户终端设备直接相连，完成数据信息的发送和接收。

(3)卫星。

VSAT 使用的卫星设备是 Ku 频段或 C 频段的同步卫星转发器。

15.4.5.5 VSAT 系统优越性

VSAT 系统主要用来替代地面专用网，完成中心站与远地分散的终端站之间的通信。

VSAT 系统的优越之处在于以下几点：

(1)通信链路费用与距离无关。

(2)远地分散的小站可以方便地进入通信链路。

(3)载波之间无须互联。

(4)无须本地环路连接。

(5)数据、语音、图像信道带宽动态分配。

(6)主站对远端站具有监控能力。

(7)主站可以对小站的状况进行诊断。

(8)网络扩充能力强。

(9)投资固定。

15.5 有线电视系统的设计要求

15.5.1 有线电视系统

15.5.1.1 一般规定

《有线电视系统工程技术规范》(GB 50200—1994)

2.1.1 使用频道的选择和数量应根据电视广播、调频广播、卫星接收微波传输、自办节目等信号源的现状、发展和经济条件确定，并应符合下列要求：

2.1.1.1 宜预留 1～2 个频道。

2.1.1.2 宜避免各种频率的组合干扰。对无法避免的干扰，应采取变换频道等措施。

2.1.2 传输方式的确定，当传输干线的衰耗(以最高工作频率下的衰耗值为准)小于 100dB 时，可采用甚高频(VHF)、超高频(UHF)直接传输方式；传输干线的衰耗大于 100dB 时，应采用甚高频(VHF)传输方式或邻频传输方式。

2.1.3 系统模式应根据信号源质量、环境条件和系统的规模及功能等因素确定，前端宜设置在覆盖区域中心，当接收信号场强小于 57dBμV 时，可采取增设远地前端等措施。

2.1.4 按系统模式应对前端、干线和分配网络进行主要技术指标的分配和计算。

2.1.5 设备、部件及材料的选择应符合下列规定：

2.1.5.1 产品性能符合现行国家有关标准的规定，并经国家规定的质检部门测试

认定。

2.1.5.2 在同一系统工程中选用的主要部件和材料,其性能、外观应一致。

2.1.5.3 选用的设备和部件的输入输出标称阻抗、电缆的标称特性阻抗均应为75Ω。

2.1.6 系统设施工作的环境温度宜符合下列要求:

1. 寒冷地区室外工作的设施:-40～+35℃。

2. 其他地区室外工作的设施:-10～+55℃。

3. 室内工作的设施:-5～+40℃。

15.5.1.2 有线电视系统设计原则

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

15.2.1 有线电视系统规模宜按用户终端数量分为下列四类:

A类:10000户以上;

B类:2001～10000户;

C类:301～2000户;

D类:300户以下。

15.2.2 建筑物与建筑群光纤同轴电缆混合网(HFC),宜由自设分前端或子分前端、二级光纤链路网、同轴电缆分配网及用户终端四部分组成,典型的网络拓扑结构宜符合图15-22的规定。

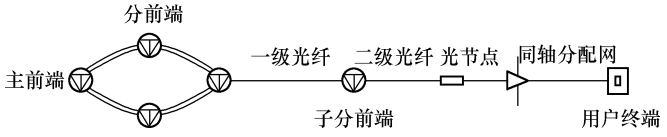


图15-22 HFC典型网络拓扑结构

15.2.3 系统设计时应明确下列主要条件和技术要求:

1. 系统规模、用户分布及功能需求。

2. 接入的有线电视网或自设前端的各类信号源和自办节目的数量、类别。

3. 城镇的有线电视系统,应采用双向传输及三网融合技术方案。

4. 接收天线设置点的实测场强值或理论计算的信号场强值及有线电视网络信号接口参数。

5. 接收天线设置点建筑物周围的地形、地貌以及干扰源、气象和大气污染状况等。

15.2.4 系统应满足下列性能指标:

1. 载噪比(C/N)应大于或等于44dB。

2. 交扰调制比(CM)应大于或等于47dB(550MHz系统),可按下式计算:

$$CM=47+10\lg(N_0/N) \tag{15-4}$$

式中 N_0——系统设计满频道数;

N——系统实际传输频道数。

3. 载波互调比(IM)应大于或等于58dB。

4. 载波复合二次差拍比(C/CSO)应大于或等于55dB。

5. 载波复合三次差拍比(C/CTB)应大于或等于55dB。

15.2.5 有线电视系统频段的划分应采用低分割方式,各种业务信息以及上行和下行

频段划分应符合表 15-13 的规定。

表 15-13 双向传输系统频段划分

频率范围/MHz	调制方式	现行名称	用途	
			模拟为主兼传数字	全数字信号
5～65	QPSK、m-QAM	低端上行	上行数字业务	
65～87	—	低端隔离带	在低端隔离上下行通带	
87～108	FM	调频广播	调频广播	数字图像、声音、数据及网管、控制
108～111	FSK	系统业务	网管、控制	
111～550	AA-VSB	模拟电视	模拟电视	
550～862	m-QAM	数字业务	数字图像、声音、数据	
862～900	—	高端隔离带	在高端隔离上下行通带	
900～1000	m-QAM	高端上行	预留	

15.2.6 有线电视系统的信号传输方式应根据有线电视网络的现状和发展、系统的规模和覆盖区域进行设计，当全部采用邻频传输时，应符合下列要求：

1. 在城市中设计有线电视系统时，其信号源应从城市有线电视网接入，可根据需要设置自设分前端。A 类、B 类及 C 类系统传输上限频率宜采用 862MHz 系统，D 类系统可根据需要和有线电视网发展规划选择上限频率。

2. 传输频道数与上限频率应符合下列对应关系：

1)550MHz 系统，可用频道数 60；

2)750MHz 系统，除 60 个模拟频道外，550～750MHz 带宽可传送 25 个数字频道；

3)862MHz 系统，除 60 个模拟频道外，550～862MHz 带宽可传送 39 个数字频道。

3. 城市有线电视系统及 HFC 网络，应按双向传输方式设计。

4. 主干线及部分支干线应使用光纤传输，宜采用星形拓扑结构。分配网络可使用同轴电缆，采用星形为主、星树形结合的拓扑结构。

15.2.7 当小型城镇不具备有线电视网，采用自设接收天线及前端设备系统时，C 类及以下的小系统或干线长度不超过 1.5km 的系统，可保持原接收频道的直播。B 类及以上的较大系统、干线长度超过 1.5km 的系统或传输频道超过 20 套节目的系统，宜采用 550MHz 及以上传输方式。

15.2.8 当采用自设接收天线及前端设备系统时，有线电视频道配置宜符合下列规定：

1. 基本保持原接收频道的直播。

2. 强场强广播电视频道转换为其他频道播出。

3. 配置受环境电磁场干扰小的频道。

15.2.9 系统输出口的模拟电视信号输出电平，宜取(69±6)dBμV。系统相邻频道输出电平差不应大于 2dB，任意频道间的电平差不宜大于 12dB。

15.2.10 系统数字信号电平应低于模拟电视信号电平，64-QAM 应低于 10dB，256-QAM 应低于 6dB。

15.5.1.3 系统的基本模式及主要技术指标分配

《有线电视系统工程技术规范》(GB 50200—1994)

规范引用

2.2.1 系统可采用无干线系统、独立前端系统、有中心前端系统、有远地前端系统四种基本模式,并宜符合下列要求:

2.2.1.1 无干线系统模式规模很小,不需传输干线,由前端直接引至用户分配网络(见图 15-23)。

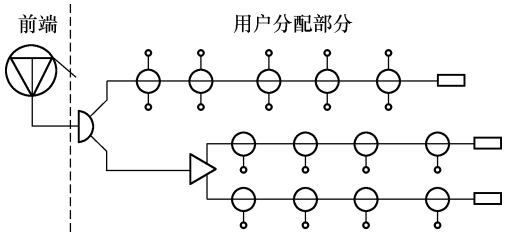


图 15-23 无干线系统模式

2.2.1.2 独立前端系统模式是典型的电缆传输分配系统,由前端、干线、支线及用户分配网组成(见图 15-24)。

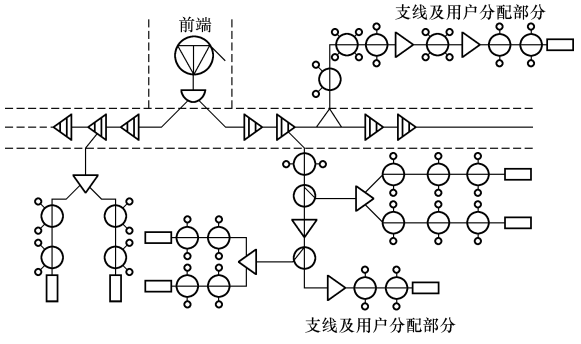


图 15-24 独立前端系统模式

2.2.1.3 有中心前端的系统模式规模较大,除具有本地前端外,还应在各分散的覆盖地域中心处设置中心前端;本地前端至各中心前端可用干线或超干线相连接,各中心前端再通过干线连至支线和用户分配网络(见图 12-25)。

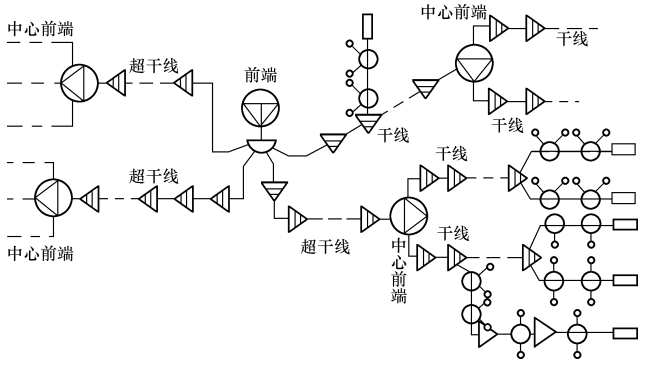


图 12-25 有中心前端的系统模式

2.2.1.4 有远地前端的系统模式，其本地前端距信号源太远，应在信号源附近设置远地前端，经超干线将收到的信号送至本地前端（见图 15-26）。

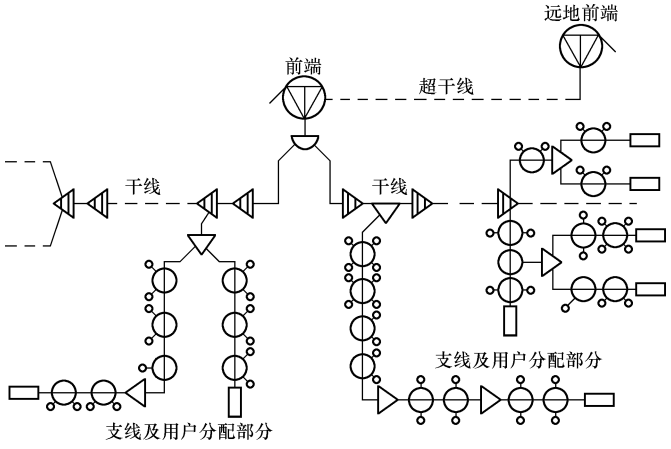


图 15-26 有远地前端的系统模式

注：系统基本模式中常用的图形符号应符合《有线电视系统工程技术规范》（GB 50200—1994）附录 A 的规定。

2.2.2 系统载噪比、交扰调制比和载波互调比的最小设计值应符合表 15-14 的规定。

表 15-14 系统载噪比、交扰调制比和载波互调比的最小设计值 （dB）

项目	设计值
载噪比/（C/N）	44
交扰调制比/CM	47
载波互调比/IM	58

2.2.3 各种系统模式的前端、干线和分配部分的主要技术指标的分配系数应符合下列规定：

2.2.3.1 无干线系统的指标分配系数应符合表 15-15 的规定。

表 15-15 无干线系统指标分配系数

项目	前端	分配网络
载噪比	4/5	1/5
交扰调制比	1/5	4/5
载波互调比	1/5	4/5

2.2.3.2 独立前端系统的指标分配系数，应根据干线的衰耗值 A（dB），按表 15-16 的规定选取。

表 15-16 独立前端系统指标分配系数

项目	前端		干线		分配网络	
	$A<100$dB	$A\geqslant100$dB	$A<100$dB	$A\geqslant100$dB	$A<100$dB	$A\geqslant100$dB
载噪比	7/10	5/10	2/10	4/10	1/10	1/10
交扰调制比	2/10	1/10	2/10	5/10	6/10	4/10
载波互调比	2/10	1/10	2/10	5/10	6/10	4/10

2.2.3.3 具有中心前端和远地前端系统的指标分配系数应符合表15-17的规定。

表15-17 中心前端和远地前端系统指标分配系数

项目	本地前端	远地前端 中心前端	本地干线 (超干线)	中心干线	分配网络
载噪比	2.5/10	2.5/10	2/10	2/10	1/10
交扰调制比	0.5/10	0.5/10	2.5/10	2.5/10	4/10
载波互调比	0.5/10	0.5/10	2.5/10	2.5/10	4/10

2.2.4 载噪比、交扰调制比、载波互调比的分贝(dB)数可按下列公式计算:

$$[C/N]_X = 44 - 10\lg a \quad (15\text{-}5)$$

$$[CM]_X = 47 - 20\lg b \quad (15\text{-}6)$$

$$[IM_2]_X = 58 - 10\lg c \quad (15\text{-}7)$$

$$[IM_3]_X = 58 - 10\lg c \quad (15\text{-}8)$$

式中 $[C/N]_X$——分配给某一部分载噪比的分贝数;

a——分配给该部分载噪比的系数;

$[CM]_X$——分配给某一部分交扰调制比的分贝数;

b——分配给该部分交扰调制比指标的系数;

$[IM_2]_X$——分配给某部分二阶载波互调比的分贝数;

c——分配给该部分载波互调比的系数;

$[IM_3]_X$——分配给该部分三阶载波互调比的分贝数。

2.2.5 系统输出口电平设计值宜符合下列要求:

2.2.5.1 非邻频系统可取70±5dBμV。

2.2.5.2 采用邻频传输的系统可取64±4dBμV。

注:在强场强区的较高楼层可提高电平,以避免同频干扰。

2.2.6 系统输出口频道间的电平差的设计值不应大于表15-18的规定。

表15-18 系统输出口频道间电平差 (dB)

频道	频段	系统输出口电平差
任意频道	超高频段	13
	甚高频段	10
	甚高频段中任意60MHz内	6
	超高频段中任意100MHz内	7
相邻频道		2

15.5.1.4 接收天线

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

15.3.1 接收天线应具有良好电气性能,其机械性能应适应当地气象和大气污染的要求。

15.3.2 接收天线的选择应符合下列规定:

1. 当接收 VHF 段信号时，应采用频道天线，其频带宽度为 8MHz。

2. 当接收 UHF 段信号时，应采用频段天线，其带宽应满足系统的设计要求。接收天线各频道信号的技术参数应满足系统前端对输入信号的质量要求。

3. 接收天线的最小输出电平可按公式(15-9)计算，当不满足公式(15-9)要求时，应采用高增益天线或加装低噪声天线放大器：

$$S_{min} \geqslant (C/N)_h + F_h + 2.4 \tag{15-9}$$

式中 S_{min}——接收天线的最小输出电平(dB)；

F_h——前端的噪声系数(dB)；

$(C/N)_h$——天线输出端的载噪比(dB)；

2.4——PAL-D 制式的热噪声电平(dBμV)。

4. 当某频道的接收信号场强大于或等于 100dBμV/m 时，应加装频道转换器或解调器、调制器。

5. 接收信号的场强较弱或环境反射波复杂，使用普通天线无法保证前端对输入信号的质量要求时，可采用高增益天线、抗重影天线、组合天线(阵)等特殊形式的天线。

15.3.3 当采用宽频带组合天线时，天线输出端或天线放大器输出端应设置分频器或接收的电视频道的带通滤波器。

15.3.4 接收天线的设置应符合下列规定：

1. 宜避开或远离干扰源，接收地点场强宜大于 54dBμV/m，天线至前端的馈线应采用聚乙烯外护套、铝管或四屏蔽外导体的同轴电缆，其长度不宜大于 30m。

2. 天线与发射台之间不应有遮挡物和可能的信号反射，并宜远离电气化铁路及高压电力线等。天线与机动车道的距离不宜小于 20m。

3. 天线宜架设在较高处，天线与铁塔平台、承载建筑物顶面等导电平面的垂直距离不应小于天线的工作波长。

4. 天线位置宜设在有线电视系统的中心部位。

15.3.5 独立塔式接收天线的最佳高度，可由下式计算确定：

$$h_j = \frac{\lambda \cdot d}{4h_i} \tag{15-10}$$

式中 h_j——天线安装的最佳绝对高度(m)；

λ——该天线接收频道中心频率的波长(m)；

d——天线杆塔至电视发射塔之间的距离(m)；

h_i——电视发射塔的绝对高度(m)。

15.5.1.5 自设前端

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

规范引用

15.4.1 自设前端设备应根据节目源种类、传输方式及功能需求设置，并应与当地有线电视网协调。

15.4.2 自设前端设施应设在用户区域的中心部位，宜靠近信号源。

15.4.3 在有线电视网覆盖范围以外或不接收有线电视网的建筑区域，可自设开路接收天线、卫星接收天线及前端设备。

15.4.4 自设前端系统的载噪比应满足现行行业标准《有线电视广播系统技术规范》(GY/T 106—1999)规定的相应基本模式的指标分配要求。

15.4.5 自设前端输入电平应满足前端系统的载噪比要求,自设前端输入的最小电平可按公式(15-9)计算。

15.4.6 自设前端系统不宜采用带放大器的混合器。当采用插入损耗小的分配式多路混合器时,其空闲端必须终接75Ω负载电阻。

15.4.7 自设前端的上、下行信号均应采用四屏蔽电缆和冷压连接器连接。

15.4.8 当民用建筑只接收当地有线电视网节目信号时,应符合下列规定:

1. 系统接收设备宜在分配网络的中心部位,应设在建筑物首层或地下一层。

2. 每2000个用户宜设置一个子分前端。

3. 每500个用户宜设置一个光节点,并应留有光节点光电转换设备间,用电量可按2kW计算。

15.4.9 自设前端输出的系统传输信号电平应符合下列规定:

1. 直接馈送给电缆时,应采用低位频段低电平、高位频段高电平的电平倾斜方式。

2. 通过光链路馈送给电缆时,下行光发射机的高频输入必须采用电平平坦方式。

15.4.10 前端放大器应满足工作频带、增益、噪声系数、非线性失真等指标要求,放大器的类型宜根据其在系统中所处的位置确定。

15.4.11 当单频道接收天线及前端专用频道需要设置放大器时,应采用单频道放大器。

前端各频道的信号电平应基本一致,邻近频道的信号电平差不应大于2dB,应采用低增益(18～22dB)、高线性宽带放大器。

15.5.2 卫星电视接收系统

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

15.6.1 卫星电视接收系统宜由抛物面天线、馈源、高频头、功率分配器和卫星接收机组成。设置卫星电视接收系统时,应得到国家有关部门的批准。

15.6.2 用于卫星电视接收系统的接收站天线,其主要电性能要求宜符合表15-19的规定。

表15-19 C频段、Ku频段天线主要电性能要求

技术参数	C频段要求	Ku频段要求	天线直径、仰角
接收频段	3.7～4.2GHz	10.9～12.8GHz	C频段≥φ3m
天线增益	40dB	46dB	C频段≥φ3m
天线效率	55%	58%	C、Ku≥φ3m
噪声温度	≤48K	≤55K	仰角20°时
驻波系数	≤1.3	≤1.35	C频段≥φ3m

15.6.3 C频段、Ku频段高频头的主要技术参数,宜符合表15-20的规定。

表 15-20 C 频段、Ku 频段高频头主要技术参数

技术参数	C 频段要求	Ku 频段要求	备注
工作频段	3.7～4.2GHz	11.7～12.2GHz	可扩展
输出频率范围	950～2150MHz		—
功率增益	≥60dB	≥50dB	—
振幅/频率特性	≤3.5dB	±3dB	带宽 500MHz
噪声温度	≤18K	≤20K	−25～25℃
镜像干扰抑制比	≥50dB	≥40dB	—
输出口回波损耗	≥10dB	≥10dB	—

15.6.4 卫星电视接收机应选用高灵敏、低噪声的产品设备。

15.6.5 卫星电视接收站站址的选择，应符合下列规定：

1. 宜选择在周围无微波站和雷达站等干扰源处，并应避开同频干扰。

2. 应远离高压线和飞机主航道。

3. 应考虑风沙、尘埃及腐蚀性气体等环境污染因素。

4. 卫星信号接收方向应保证无遮挡。

15.6.6 卫星电视接收天线应根据所接收卫星采用的转发器，选用 C 频段或 Ku 频段抛物面天线。天线增益应满足卫星电视接收机对输入信号质量的要求。

15.6.7 当天线直径小于 4.5m 时，宜采用前馈式抛物面天线。

当天线直径大于或等于 4.5m，且对其效率及信噪比均有较高要求时，宜采用后馈式抛物面天线。当天线直径小于或等于 1.5m 时，特别是 Ku 频段电视接收天线宜采用偏馈式抛物面天线。

15.6.8 天线直径大于或等于 5m 时，宜采用电动跟踪天线。

15.6.9 在建筑物上架设天线，应将天线基础做法、各类荷载等，提供给结构专业设计人员，确定具体的安装位置及基础形式。

15.6.10 天线的机械强度应满足其不同的工作环境要求。沿海地区宜选用玻璃钢结构天线，风力较大地区宜选用网状天线。

15.6.11 卫星电视接收站宜与前端合建在一起。室内单元与馈源之间的距离不宜超过 30m，信号衰减不应超过 12dB。信号线保护导管截面积不应小于馈线截面积的 4 倍。

15.6 扩声和音响系统的设计要求

15.6.1 常用术语

规范引用 《厅堂扩声系统设计规范》(GB 50371—2006)

2.0.1 扩声系统

扩声系统包括设备和声场。主要过程为：将声信号转换为电信号，经放大、处理、传输，再转换为声信号还原于所服务的声场环境；主要设备包括：传声器、音源设备、调音台、信号

处理器、功率放大器和扬声器系统。

2.0.4 最大声压级

扩声系统完成调试后,在厅堂内各测量点可能的最大峰值声压级的平均值 $\bar{L}_M$。以峰值因数(1.8～2.2)限制的额定通带粉红噪声为信号源,其最大峰值声压级为 RMS 声压级的长期平均值 $\bar{L}_{RMS}$ 加上峰值因数的以 10 为底的对数再乘以 20,单位:dB。

$$\bar{L}_M = \bar{L}_{RMS} + 20\lg(1.8 \sim 2.2)$$

2.0.5 最大可用增益

厅堂扩声系统在声反馈临界状态时的增益减去 6dB。

2.0.6 传输频率特性

扩声系统在稳定工作状态下,厅堂内各测量点稳态声压级的平均值相对于扩声设备输入端的电平的幅频响应。

2.0.7 传声增益

扩声系统在最大可用增益状态时,厅堂内各测量点稳态声压级平均值与扩声系统心型[$R(\theta)=(1+\cos\theta)/2$]传声器处稳态声压级的差值,单位:dB。

2.0.8 声场不均匀度

厅堂内(有扩声时)各测量点的稳态声压级的差值,单位:dB。

2.0.9 声反馈

扩声系统中的扬声器系统放出的部分声能反馈到传声器的效应。

2.0.10 系统总噪声级

扩声系统在最大可用增益工作状态下,厅堂内各测量点扩声系统所产生的各频带的噪声声压级(扣除环境背景噪声影响)平均值,以 NR-曲线评价。

2.0.12 数字信号处理

用数字技术对信号进行采集、储存、传输、变换等的方法和技术。

《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526—2010)

规范引用

2.0.1 公共广播

由使用单位自行管理的,在本单位范围内为公众服务的声音广播。包括业务广播、背景广播和紧急广播等。

2.0.2 公共广播系统

为公共广播覆盖区服务的所有公共广播设备、设施及公共广播覆盖区的声学环境所形成的一个有机整体。

2.0.3 公共广播设备

组成公共广播系统的全部设备的总称。包括广播扬声器、功率放大器、传输线路及其传输设备、管理/控制设备、寻呼设备、传声器和其他信号源设备。

2.0.7 广播扬声器布点

将广播扬声器配置到公共广播服务区现场各个具体位置的设计和施工。

2.0.12 广播优先级

广播信号源播出的优先等级。

2.0.13 传声器优先

赋予传声器具有最高广播优先级的功能。

2.0.24 应备声压级

公共广播系统在广播服务区内，应能达到的稳态有效值广播声压级的平均值。

2.0.25 声场不均匀度

公共广播服务区内各测量点测得的声压级的最大差值。

《电子会议系统工程设计规范》(GB 50799—2012)



2.1.1 电子会议系统

通过音频、自动控制、多媒体等技术实现会议自动化管理的电子系统。

2.1.7 原声通路

传输发言者讲话的音频通路。

2.1.8 译音通路

传输指定语言的音频通路。

2.1.9 呼叫通路

传输翻译员、主席、发言者与操作人员信息的音频通路。

2.1.11 会议同声传译系统

将发言者的原声经翻译单元(由翻译员进行)同声翻译成其他语言，并通过语言分配系统把发言者的原声和译音语言分配给代表的声系统。

15.6.2 厅堂扩声系统的设计

15.6.2.1 一般规定

《厅堂扩声系统设计规范》(GB 50371—2006)

3.1.1 从方案设计开始，扩声系统设计就应与建筑声学设计、建筑设计和其他有关工程设计专业密切配合。装修设计时，在控制厅内混响时间、房间体型、反射声分布和避免声缺陷等问题时，应将扬声器系统位置作为主要声源点之一。

3.1.2 扩声系统应保证听众有足够的声压级，声音清晰、声场均匀。

3.1.3 根据使用要求，厅堂扩声系统应包括以下部分或全部子系统：

1. 观众厅的扩声系统。

2. 舞台(会议时的主席台)的扩声系统；服务于舞台上演职员的监听系统。

3. 具有演出功能的厅堂，服务于演职员的舞台监督系统。

4. 背景音乐广播系统。

3.1.4 扩声系统信号，对模拟传输其电气互连的优选配接值应满足国家标准《音频、视频和视听系统互连的优选配接值》(GB/T 14197—2012)及《会议系统电及音频的性能要求》(GB/T 15381—1994)的规定，系统设备之间宜采用平衡传输方式；数字传输及接口应符合国家相关行业标准《多通路音频数字串行接口》(GY/T 187—2002)的要求。

3.1.5 扩声系统设计应提供完整的图纸及说明文件，包括管道图、设备布置图、系统原理方框图、设备的选型和配置及接线图。

3.1.6 扩声系统的设计可采用先进的技术作为辅助设计手段，但应给出分析结果的适用范围。

3.1.7 扩声系统对服务区以外有人区域不应造成环境噪声污染。

规范引用 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

16.1.3 扩声系统的设置应符合下列规定:

1. 扩声系统应根据建筑物的使用功能、建筑设计和建筑声学设计等因素确定。

2. 扩声系统的设计应与建筑设计、建筑声学设计同时进行,并与其他有关专业密切配合。

3. 除专用音乐厅、剧院、会议厅外,其他场所的扩声系统宜按多功能使用要求设置。

4. 专用的大型舞厅、娱乐厅应根据建筑声学条件,设置相应的固定扩声系统。

5. 下列场所宜设置扩声系统:

1)听众距离讲台大于 10m 的会议场所;

2)厅堂容积大于 1000m^3的多功能场所;

3)要求声压级较高的场所。

15.6.2.2 传声器的要求

规范引用 《厅堂扩声系统设计规范》(GB 50371—2006)

3.2.1 系统宜配置足够数量的传声器。

3.2.2 传声器的类型应满足适用本厅堂不同类型声源信号的拾音。

3.2.3 主要传声器宜选用有利于抑制声反馈的传声器。

3.2.4 应分别在台口、乐池、侧台附近和观众席等处按功能需要设传声器插座。

3.2.5 具有演出功能的厅堂,若现场多个工位同时需要传声器信号,宜设置传声器信号分配系统。

3.2.6 传声器信号接线应采用带屏蔽的平衡电缆。

15.6.2.3 扬声器系统的要求

规范引用 《厅堂扩声系统设计规范》(GB 50371—2006)

3.3.1 根据不同的功能和服务对象,设计相应的扬声器系统:

1. 根据厅堂具体条件选用集中式、分散式或集中分散相结合三者中的较佳方案。

2. 根据声道模式的不同可选择单声道、双声道和三声道(左/中/右)系统中的一种。

3. 具有演出功能的厅堂宜设置独立的次低频扬声器系统。

4. 主扬声器系统对部分观众席无法提供足够的直达声或直达声方位太高时,应设置补充或辅助扬声器系统,并配备能对其馈给信号进行时间和频率特性调整的信号处理设备。

5. 具有演出功能的厅堂宜设置效果声扬声器系统。根据使用要求和实际情况,扬声器系统安装在观众厅的顶棚、侧墙、后墙或舞台上。

6. 舞台(主席台)扩声扬声器系统宜安装在靠近台口的位置。该扬声器系统由声控室的操作人员操作控制。

7. 具有演出功能的厅堂,应设置服务于演职人员的舞台返听扬声器系统。舞台返听系统宜包括固定安装返听扬声器系统、流动返听扬声器系统和返听耳机。

3.3.2 扬声器系统必须有可靠的安全保障措施,不产生机械噪声。当涉及承重结构改动或增加荷载时,必须由原结构设计单位或具备相应资质的设计单位核查有关原始资料,对既有建筑结构的安全性进行核验、确认。

3.3.3 扬声器系统的安装,无论明装或暗装,均应减小安装条件对扬声器系统声辐射的影响,并应符合下列要求:

1. 采用暗装时,开口足够大;所用饰面材料和蒙面装修用格栅的尺寸(宽度和深度)宜小于等于20mm。

2. 扬声器系统安装处的空间尺寸足够大,并进行声学处理。

3. 具有演出功能的厅堂,同一声道扬声器的数量及布置宜有利于减轻服务区内的声波干涉。

3.3.4 功率放大器与主扬声器系统之间的连线功率损耗应小于主扬声器系统功率的10%,次低频扬声器系统的连线功率损耗宜小于5%。

15.6.3 公共广播系统的设计

15.6.3.1 一般规定

《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526—2010)



3.1.1 公共广播系统工程设计应在安全、环保、节能和节约资源的基础上满足用户的合理需求。

3.1.2 公共广播设备应按国家有关规定通过3C认证。

3.1.3 公共广播应为单声道广播。

3.1.4 公共广播系统应根据用途和等级要求进行设计。

3.1.5 一个公共广播系统可同时具有多种广播用途,各种广播用途的等级设置可互相不同。

3.1.6 易燃易爆区域内的公共广播系统,必须符合现行国家标准《爆炸性环境 第1部分:设备 通用要求》(GB 3836.1—2010)和《爆炸性环境 第2部分:由隔爆外壳"d"保护的设备》(GB 3836.2—2010)的有关规定。

3.1.7 公共广播系统工程设计应包括下列文件:

1)系统结构图及其说明文件。

2)广播传输线路敷设路由及广播扬声器布点平面图。

3)控制中心及其设备现场配置图。

4)设备清单。

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

16.1.2 公共建筑应设置广播系统,系统的类别应根据建筑规模、使用性质和功能要求确定,并应符合下列要求:

1. 办公楼、商业楼、院校、车站、客运码头及航空港等建筑物,宜设置业务性广播,满足以业务及行政管理为主的广播要求。

2. 星级饭店、大型公共活动场所等建筑物,宜设置服务性广播,满足以欣赏性音乐、背景音乐或服务性管理广播为主的要求。

3. 火灾应急广播的设置与要求,应符合《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)第13章的规定。

15.6.3.2 广播扬声器

《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526—2010)



3.6.1 广播扬声器的重放声场,应符合《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526—2010)表3.3.1的规定。

3.6.2 广播扬声器的灵敏度、额定功率、频率响应、指向性等性能指标应符合声场设计的要求。

3.6.3 广播扬声器布点宜符合下列规定:

1. 广播扬声器宜根据分片覆盖的原则,在广播服务区内分散配置。

2. 广场以及面积较大且高度大于4m的厅堂等块状广播服务区,也可根据具体条件选用集中式或集中分散相结合的方式配置广播扬声器。

3. 广播扬声器的安装高度和安装角度应符合声场设计的要求。

3.6.4 室外广播扬声器应具有防潮和防腐的特性。

3.6.5 广播扬声器的外形、色调、结构及其安装架设方式应与环境相适应。

3.6.6 当采用无源广播扬声器,且传输距离大于100m时,宜选用内置线间变压器的定压式扬声器。定压式扬声器的额定工作电压应与广播线路额定传输电压相同。

3.6.7 用于火灾隐患区的紧急广播扬声器应符合下列规定:

1. 广播扬声器应使用阻燃材料,或具有阻燃后罩结构。

2. 广播扬声器的外壳防护等级应符合现行国家标准《外壳防护等级(IP代码)》(GB 4208—2008)的有关规定。

15.6.3.3 广播功率放大器

《公共广播系统工程技术规范》(GB 50526—2010)

3.7.1 驱动无源终端的广播功率放大器,宜选用定压式功率放大器;定压式功率放大器的标称输出电压应与广播线路额定传输电压相同。

3.7.2 非紧急广播用的广播功率放大器,额定输出功率不应小于其所驱动的广播扬声器额定功率总和的1.3倍。

3.7.3 用于紧急广播的广播功率放大器,额定输出功率不应小于其所驱动的广播扬声器额定功率总和的1.5倍;全部紧急广播功率放大器的功率总容量,应满足所有广播分区同时发布紧急广播的要求。

15.6.4 多媒体会议室与同声传译系统

15.6.4.1 一般规定

《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16—2008)

16.1.4 会议系统的设置应符合下列规定:

1. 会议系统应根据会议厅的规模、使用性质和功能要求设置。

2. 会议厅除设置音频扩声系统外，尚宜设置多媒体演示系统。

3. 需要召开视讯会议的会议厅应设置视频会议系统。

4. 有语言翻译需要的会议厅应设置同声传译系统。

15.6.4.2 传声器和扬声器

《会议电视会场系统工程设计规范》(GB 50635—2010)

3.2.2 传声器及音源的配置应符合下列规定：

1. 应配置会议用指向性传声器，传声器数量宜以会议主持人和发言者的人数确定，并应有备份。

2. 传声器的指向性、频率响应、等效噪声级和过载声压级等要求，应符合现行国家标准《传声器通用规范》(GB/T 14198—2012)的有关规定。

3. 传声器应采用平衡输出方式，并应使用音频屏蔽电缆连接。

4. 宜配置录音机、激光唱机等音源设备。

3.2.3 扬声器系统的设置应符合下列规定：

1. 扬声器系统应根据会场的体形结构、容积、装饰装修进行语言清晰度和声场分布设计，确定扬声器系统的数量、参数、方位。

2. 扬声器系统可设置主扬声器和辅助扬声器，并应符合《会议电视会场系统工程设计规范》(GB 50635—2010)第4.1.1条的规定。

3. 主扬声器应设置在会场主席台或主屏幕显示器附近，并应满足系统声像一致要求。

4. 辅助扬声器宜设置在会场顶棚或侧墙上，并在其传输通路中宜配备电子延时设备。

5. 当会场设置主席台时，宜设置主席台返听扬声器系统。

6. 扬声器采用流动方式时，支架应稳重结实。

7. 扬声器系统宜采用计算机辅助设计。

《电子会议系统工程设计规范》(GB 50799—2012)

7.4.1 传声器的选择应符合下列要求

1. 系统宜配置足够数量的传声器。

2. 可采用有线传声器或无线传声器。

3. 应选用有利于抑制声反馈的传声器。

4. 厅堂类会议场所应分别在主席台台口和观众席等处按功能需要设置传声器插座。

5. 具有演出功能的会议场所，现场多个工位同时需要传声器信号时，宜设置传声器信号分配系统。

7.4.2 扬声器系统的选择应符合下列要求：

1. 扬声器系统应根据会议场所主席台面积和观众席坐席数量、空间高度、容积、混响时间等因素，按下列要求进行设计：

1)扬声器系统可根据会议现场情况选用集中、分散或集中分散相结合的分布方式。

2)扬声器系统可根据厅堂主席台口尺寸，采用相应单通道、双通道和三通道系统。

3)扬声器系统可选用点声源扬声器系统或线阵列扬声器系统。

4)主席台返送监听音箱应安装在靠近舞台台口位置,并应独立控制。

2. 扬声器系统必须采取安全保障措施,且不应产生机械噪声。

3. 扬声器系统承重结构改动或荷载增加时,必须由原结构设计单位或具备相应资质的设计单位核查有关原始资料,并应对既有建筑结构的安全性进行核验、确认。

4. 扬声器系统的安装应符合下列要求:

1)采用暗装方式时,孔洞开口尺寸不应影响扬声器声辐射性能,所用饰面材料和扬声器面罩透声性能应好,饰面材料穿孔率宜大于或等于50%。

2)扬声器系统安装处的空间尺寸应保证扬声器系统声辐射不受影响,并应进行声学吸声处理。

3)有演出功能的会议场所,同一声道扬声器的数量及布置宜有利于减轻服务区内的声波干扰。

5. 功率放大器与扬声器系统之间的线路功率损耗应小于扬声器系统功率的10%。

15.6.4.3 会议同声传译系统

《电子会议系统工程设计规范》(GB 50799—2012)

5.1.1 会议同声传译系统宜由翻译单元、语言分配系统、耳机以及同声传译室组成。

5.1.2 语言分配系统可根据信号传输方式分为有线语言分配系统和无线语言分配系统;无线语言分配系统可分为红外线语言分配系统和射频语言分配系统。语言分配系统可根据音频信号处理方式分为模拟语言分配系统和数字语言分配系统。

5.1.3 有线语言分配系统可由会议系统控制主机和通道选择器组成(见图15-27);无线语言分配系统可由发射主机、辐射单元和接收单元组成(见图15-28)。

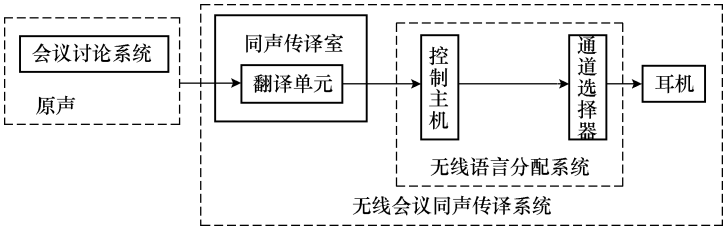


图15-27 无线会议同声传译系统的组成

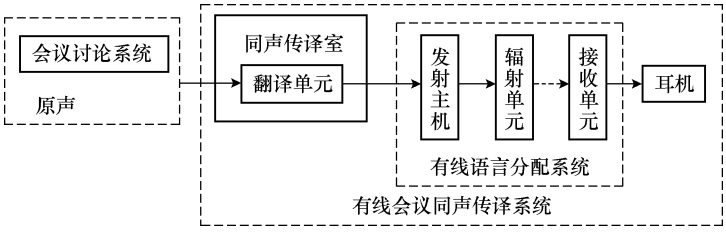


图12-28 有线会议同声传译系统的组成

《红外线同声传译系统工程技术规范》(GB 50524—2010)

3.4.1 同声传译室内装修材料应采用防静电、无反射、无味和难燃的吸声材料。

3.4.2 同声传译室的内部三维尺寸应互不相同,墙不宜完全平行,并应符合下列规定:

1. 两个翻译员室的宽度应大于或等于2.50m,三个翻译员室的宽度应大于或等于3.20m。

2. 深度应大于或等于2.40m。

3. 高度应大于或等于2.30m。

3.4.3 倍频程带宽为125～4000Hz时,同声传译室的混响时间宜为0.3～0.5s。

3.4.4 同声传译室墙壁的计权隔声量宜大于40dB。

3.4.5 同声传译室的门应隔声,隔声量宜大于38dB。门上宜留不小于0.20m×0.22m的观察口,也可在门外配指示灯。

3.4.6 同声传译室的前面和侧面应设有观察窗。前面观察窗应与同声传译室等宽,观察窗中间不应有垂直支撑物。侧面观察窗由前面观察窗向侧墙延伸不应小于1.10m。观察窗的高度应大于1.20m,观察窗下沿应与翻译员工作台面平齐或稍低。

3.4.7 同声传译室的温度应保持在18～22℃,相对湿度应在45%～60%,通风系统每小时换气不应少于7次。通风系统应选用低噪声产品,室内背景噪声不宜大于35dB(A)。

3.4.8 翻译员工作台长度应与同声传译室等宽,宽度不宜小于0.66m,高度宜为0.74±0.01m;腿部放置空间高度不宜小于0.45m。工作台面宜铺放减振材料。

3.4.9 同声传译室照明应配置冷光源的定向灯,灯光应覆盖整个工作面。灯具亮度可为高低两挡调节;低挡亮度应为100～200lx,高挡亮度不应小于300lx;也可为100～300lx连续可调。

3.4.10 翻译员的座椅宜符合下列规定:

1. 应支撑稳定。

2. 可调节高度。

3. 可调节靠背。

4. 宜带有扶手。

5. 脚轮不应产生可听见的噪声。

6. 宜采用良好散热的材料。

7. 搭足横木宜独立、可移动。

3.5.1 移动式同声传译室应采用防静电、无味和难燃的材料,内表面应吸声。

3.5.2 移动式同声传译室空间应满足规定数量的翻译员并坐、进出不互相干扰的要求,并应符合下列规定:

1. 空间宽敞时宜采用标准尺寸。一个标准的移动式同声传译室的内部尺寸应符合下列规定:

1)一个或两个翻译员时的宽度应大于或等于1.60m,三个翻译员时的宽度应大于或等于2.40m。

2)深度应大于或等于1.60m。

3)高度应大于或等于2.00m。

2. 因空间限制不能应用标准尺寸时,一个或两个翻译员使用的移动式同声传译室的宽度应大于或等于1.50m,深度应大于或等于1.50m,高度应大于或等于1.90m。

3.5.3 移动式同声传译室的混响时间应符合《红外线同声传译系统工程技术规范》(GB 50524—2010)第3.4.3条的规定。

3.5.4 移动式同声传译室墙壁计权隔声量宜大于18dB(1kHz)。

3.5.5 移动式同声传译室的门应朝外开、带铰链,不得用推拉门或门帘;开关时应无噪

声,并且门上不应有上锁装置。

3.5.6 移动式同声传译室的前面和侧面应设有观察窗。前面观察窗应与同声传译室等宽;中间垂直支撑宽度宜小,并不应位于翻译员的视野中间。侧面观察窗由前面观察窗向侧面延伸不应小于0.60m,并超出翻译员工作台宽度0.10m以上。观察窗的高度应大于0.80m,观察窗下沿距翻译员工作台面不应大于0.10m。

3.5.7 移动式同声传译室的通风系统每小时换气不应少于7次。通风系统应选用低噪声产品,室内背景噪声不宜大于40dB(A)。

3.5.8 翻译员工作台的长度应与移动式同声传译室等宽,宽度不宜小于0.50m,高度宜为0.73±0.01m;腿部放置空间高度不宜小于0.45m。工作台面宜铺放减振材料。

3.5.9 移动式同声传译室照明应符合《红外线同声传译系统工程技术规范》(GB 50524—2010)第3.4.9条的规定。

3.5.10 翻译员的座椅应符合《红外线同声传译系统工程技术规范》(GB 50524—2010)第3.4.10条的规定。

15.7 呼叫系统及公共显示装置的设计要求

15.7.1 视频显示系统工程的分类和分级

15.7.1.1 LED视频显示系统的分类和分级

《视频显示系统工程技术规范》(GB 50464—2008)

3.1.1 LED视频显示系统的分类应符合下列规定:

1. 可根据使用环境分为室内型显示系统和室外型显示系统。

2. 可根据显示颜色分为单基色显示系统、双基色显示系统和全彩色(红、绿、蓝三基色)显示系统。

3.1.2 LED视频显示系统可分为甲、乙、丙三级。各级LED视频显示系统的性能和指标应符合表15-21的规定。

表15-21 各级LED视频显示系统的性能和指标

项目			甲级	乙级	丙级
系统可靠性	基本要求		系统中主要设备应符合工业级标准,不间断运行时间7d×24h		系统中主要设备符合商业级标准,不间断运行时间3d×24h
	平均无故障时间(MTBF)		MTBF>10000h	10000h>MTBF>5000h	5000h≥MTBF>3000h
	像素失控率P_Z	室内屏	$P_Z\leqslant1\times10^{-4}$	$P_Z\leqslant2\times10^{-4}$	$P_Z\leqslant3\times10^{-4}$
		室外屏	$P_Z\leqslant1\times10^{-4}$	$P_Z\leqslant4\times10^{-4}$	$P_Z\leqslant2\times10^{-3}$
光电性能	换帧频率(F_H)		$F_H\geqslant50$Hz	$F_H\geqslant25$Hz	$F_H<25$Hz
	刷新频率(F_C)		$F_C\geqslant300$Hz	300Hz>$F_C\geqslant200$Hz	200Hz>$F_C\geqslant100$Hz
	亮度均匀性(B)		$B\geqslant95\%$	$B\geqslant75\%$	$B\geqslant50\%$

续表

项目		甲级	乙级	丙级
机械性能	像素中心距相对偏差(J)	$J\leqslant5\%$	$J\leqslant7.5\%$	$J\leqslant10\%$
	平整度(P)	$P\leqslant0.5$mm	$P\leqslant1.5$mm	$P\leqslant2.5$mm
图像质量		>4级		4级
接口、数据处理能力		1. 输入信号:兼容各种系统需要的视频和PC接口; 2. 模拟信号:达到10b精度的A/D转换; 3. 数字信号:能够接收和处理每种颜色10b信号	1. 输入信号:兼容各种系统需要的视频和PC接口; 2. 模拟信号:达到8b精度的A/D转换; 3. 数字信号:能够接收和处理每种颜色8b信号	输入信号:兼容各种系统需要的视频和PC接口

15.7.1.2 投影型视频显示系统的分类和分级

《视频显示系统工程技术规范》(GB 50464—2008)

3.2.1 投影型视频显示系统的分类应符合下列规定:

1. 可根据投影机工作方式分为背投影显示系统和正投影显示系统。

2. 可根据投影机数量分为拼接显示系统和非拼接(单台)显示系统。

3.2.2 投影型视频显示系统可分为甲、乙、丙三级。各级投影型视频显示系统的性能和指标应符合表15-22的规定。

表15-22 各级投影型视频显示系统的性能和指标

项目		甲级	乙级	丙级
系统可靠性	基本要求	系统中主要设备应符合工业级标准,不间断运行时间7d×24h		系统中主要设备符合商业级标准,不间断运行时间3d×24h
	平均无故障时间(MTBF)	MTBF>40000h	MTBF>30000h	MTBF>20000h
显示性能	拼接要求	各个独立的视频显示屏单元应在逻辑上拼接成一个完整的显示屏,所有显示信号均应能随机实现任意缩放、任意移动、漫游、叠加覆盖等功能	各个独立的视频显示屏单元可在逻辑上拼接成一个完整的显示屏,所有显示信号均应能随机实现任意缩放、任意移动、漫游、叠加覆盖等功能	无

续表

项目		甲级	乙级	丙级
显示性能	信号显示要求	任何一路信号应能实现整屏显示、区域显示及单屏显示	任何一路信号宜实现整屏显示、区域显示及单屏显示	无
	同时实时信号显示数量	≥M(层)×N(列)×2	≥M(层)×N(列)×1.5	≥M(层)×N(列)×1
	计算机信号刷新频率	≥25f/s		≥15f/s
	视频信号刷新频率	≥24f/s		
	任一视频显示屏单元同时显示信号数量	≥8 路信号	≥6 路信号	无
	任一显示模式间的显示切换时间	≤2s	≤5s	≤10s
	亮度与色彩控制功能要求	应分别具有亮度与色彩锁定功能,保证显示亮度、色彩的稳定性	宜分别具有亮度与色彩锁定功能,保证显示亮度、色彩的稳定性	无
机械性能	拼缝宽度	≤1 倍的像素中心距或 1mm	≤1.5 倍的像素中心距	≤2 倍的像素中心距
	关键易耗品结构要求	应采用冗余设计与现场拆卸式模块结构	宜采用冗余设计与现场拆卸式模块结构	无
图像质量		>4 级		4 级
支持输入信号系统类型		数字系统		无

15.7.1.3 电视型视频显示系统的分类和分级

《视频显示系统工程技术规范》(GB 50464—2008)

3.3.1 电视型视频显示系统的分类应符合下列规定:

1. 可根据显示器件的种类分为 CRT、LCD、PDP 等显示系统。

2. 可根据显示屏的组成数量分为单屏电视显示系统和拼接显示系统。

3.3.2 电视拼接视频显示系统可按《视频显示系统工程技术规范》(GB 50464—2008)第 3.2.2 条的规定分级。

15.7.2 视频显示系统工程设计

15.7.2.1 一般规定

规范引用 《视频显示系统工程技术规范》(GB 50464—2008)



4.1.1 视频显示系统设计应满足实用性、先进性、经济性、可靠性和可维护性的要求。

4.1.2 视频显示系统的显示制式应支持模拟视频信号和数字视频信号的播放。

4.1.3 视频显示系统可由视频显示屏系统、传输系统、控制系统(含图像处理及显示软件)及辅助系统四个主要系统或其中部分系统组成,各部分应符合下列规定:

1. LED 视频显示屏系统应由显示屏幕、屏体控制单元、电源模块、金属屏体框架等组成。

2. 投影型视频显示屏系统应由 M(层)×N(列)个独立的投影幕布单元组成。

3. 电视型视频显示屏系统应由 M(层)×N(列)个独立的 CRT、PDP 或 LCD 视频显示屏单元组成。

4. 传输系统应将需显示的计算机网络信号、计算机显卡输出信号和视频信号按照设计的技术指标要求传输至各显示屏单元。

5. 控制系统应满足视频信号调度管理需要,对视频信号进行分配、切换、处理,对图像显示参数进行设置和调整,对图像进行分割、拼接。

6. 辅助系统应包括支持视频显示系统工作的控制室、设备间、供配电和防雷接地系统等配套工程。

4.1.4 视频显示系统工作环境温度应符合下列要求:

1. LED 视频显示系统的室外工作环境温度应为−10～55℃;其他应为−40～55℃。

2. 室内工作环境温度应为 10～35℃。

4.1.5 视频显示系统的设备、部件和材料选择应符合下列规定:

1. 系统应采用技术成熟、性能先进、使用可靠的定型产品。

2. 系统采用设备和部件的模拟视频输入和输出阻抗以及同轴电缆的特性阻抗均应为 75Ω。

3. 系统选用的各种配套设备的性能、指标及技术要求应协调一致。

4. 系统设备应满足防潮、防火、防雷等要求。

4.1.6 视频显示系统的各路模拟视频信号,在设备输入端的电平值应为 1Vp-p ±0.3V。

4.1.7 视频显示系统的设计方案应符合下列要求:

1. 系统组成及设备配置应根据系统的技术、功能要求确定。

2. 系统各部分设备的设置地点应根据使用场所、使用环境确定。

3. 传输系统设备、传输介质及传输路由应根据系统各部分设备及其信号源的分布与周围环境条件确定。

15.7.2.2 视频显示屏系统设计

《视频显示系统工程技术规范》(GB 50464—2008)

4.2.1 LED视频显示屏系统的安装现场设计应符合下列规定：

1. 显示屏发光面应避开强光直射。

2. 显示屏图像分辨力应大于等于320×240。

3. 视距和像素中心距应按下式计算：

$$H=k\cdot P \tag{15-11}$$

式中 H——视距(m)；

k——视距系数，最大视距宜取5520，最小视距宜取1380；

P——像素中心距(m)。

4.2.2 LED视频显示屏系统的设计应符合下列规定：

1. 像素中心距应根据合理或最佳视距计算。

2. 显示屏的水平左右视角分别不宜小于±50°，垂直上视角不宜小于10°，垂直下视角不宜小于20°。

3. 显示屏亮度应符合表15-23的规定，在重要的公共场所亮度应可调节。

表15-23 视频显示屏的亮度 (cd/m^2)

场所	种类		
	三基色(全彩色)	双色	单色
室外	≥5000	≥4000	≥2000
室内	≥800	≥100	≥60

4. 背景照度小于20lx时，全彩色室外LED显示屏最高对比度不应小于800∶1，室内不应小于200∶1。

5. 显示屏的白场色坐标，在色温5000～9500K应可调，允许误差应为$|\Delta x|\leqslant 0.030$，$|\Delta y|\leqslant 0.030$。

6. 显示屏的色度不均匀性不应大于0.14。

7. 显示屏的每种基色应具有256级(8b)的灰度处理能力。

4.2.3 LED视频显示屏系统的安全性设计应符合下列规定；

1. 安全性设计应符合国家现行标准《LED显示屏通用规范》(SJ/T 11141—2012)的有关规定。

2. 显示屏应有完整的接地系统。

3. 室外LED视频显示屏应有防雷系统。

4. 显示屏的外壳防护等级应符合现行国家标准《外壳防护等级(IP代码)》(GB 4208—2008)的有关规定。室内LED显示屏屏体不应低于IP20，室外LED显示屏屏体外露部分不应低于IP65。

5. 处于游泳馆、沿海地区等腐蚀性环境的LED视频显示屏应采取防腐蚀措施。

6. 安装工程设计应符合现行国家标准《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)和《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)的有关规定。

4.2.4 投影型视频显示屏系统的设计应符合下列规定：

1. 显示屏应具有较大的水平视角、垂直视角，应保证观看人员在设定的范围内能清晰地观看屏幕显示内容。观看人员观看显示屏的范围应按现行国家标准《中国成年人人体尺寸》(GB 10000—1988)的有关规定执行。

2. 显示屏与观看人员间应无遮挡。

3. 显示屏表层应具有抗环境光干扰能力。在正常工作环境光线下观看时，显示屏应无反射、眩光等现象。

4. 对显示屏的 X 射线、紫外线等有害射线和噪声应采取屏蔽、降噪等措施。

5. 屏前图像色温宜为 6500K。

6. 显示屏单元物理分辨力不应低于主流显示信号的显示分辨力。

7. 显示屏单元亮度不应小于 80cd/m^2。

8. 在环境光照度 200lx 时，显示屏单元的对比度不应小于 30∶1。

9. 显示屏各显示单元的亮度均匀性均不应小于 60%。

10. 显示屏各显示单元的色度不均匀性均不应大于 0.02。

11. 显示屏各相邻显示单元的亮度均匀性不应小于 80%。

12. 显示屏各相邻显示单元的色度均匀性不应大于 0.03。

13. 视频显示屏单元的每种基色应具有 256 级(8b)的灰度处理能力。

4.2.5 电视型视频显示屏系统的设计应符合下列规定：

1. 视频显示屏单元宜采用 CRT、PDP 或 LCD 等显示器，并应符合下列要求：

1)应具有较好的硬度、质地和较小的热膨胀系数。

2)应能清晰显示分辨力较高的图像，并应保证图像失真小、色彩还原真实。

3)亮度应均匀，显示画面应稳定、无闪烁。

4)应保证使用安全、维护方便。

2. 显示屏与工作人员间应无遮挡，并应保持适当距离，工作人员观看显示屏的范围应符合现行国家标准《中国成年人人体尺寸》(GB 10000—1988)的有关规定。

3. 对显示屏的 X 射线、紫外线和噪声应采取屏蔽、降噪等措施。

4. 显示质量应符合下列规定：

1)应保证显示色彩的还原性。

2)视频显示屏单元物理分辨力不应低于主流显示信号的显示分辨力。

3)CRT 显示屏单元对角线尺寸不小于 56cm 时，亮度不应低于 60cd/m^2；小于 56cm 时，亮度不应低于 80cd/m^2。

PDP 显示屏单元对角线尺寸不大于 127cm 时，亮度不应低于 60cd/m^2；大于 127cm 时，亮度不应低于 40cd/m^2。

LCD 显示屏单元亮度不应低于 350cd/m^2。

4)CRT 视频显示屏各显示单元的对比度不应低于 150∶1。

15.7.3 呼叫系统设计

15.7.3.1 医院呼叫系统的设计

(1)系统组成。

病房呼叫系统由护士站主控台、走廊显示挂屏、病床呼叫对讲分机等组成。

(2)系统设计原则。

可根据医院的规模、标准及医护水平要求,在医院内设护理呼叫信号。护理呼叫信号系统应按护理区及医护责任体系,划分成若干个护理呼叫信号管理单元,各管理单元的信号主控装置应设在医护值班室。

(3)系统功能。

系统应具备下列功能:

1)随时接受患者呼叫,准确显示呼叫患者床位号或房间号。

2)患者呼叫时,医护值班室应有明显的声、光提示,病房门口或走廊上要有光提示;

3)允许多路同时呼叫,对呼叫者逐一记忆、显示;

4)特护患者应有优先呼叫权;

5)医护人员未作临床处置的患者呼叫,其提示信号应持续保留。

15.7.3.2 候诊呼叫系统

医院门诊区内较大的候诊室、化验室及中草药房等场所宜设候诊呼叫信号,呼叫方式的选取应保证有效提示和医疗环境的肃静。

15.7.3.3 人员呼叫系统

大型医院、中心医院宜设医护人员寻叫呼应信号,寻叫呼应信号应按下列要求设计。

(1)简单明了地显示被寻者代号及寻叫者地址。

(2)寻叫显示装置应设在门诊区、病房区、后勤区等场所的易见处。

(3)寻叫呼应信号的控制台宜设在电话站内,由值班人员统一管理。

15.7.3.4 病房呼叫系统的设计

在医院病房、产房等处应设病房呼叫系统。在护士站设呼叫主机,在各个病床处、卫生间设呼叫及对讲按钮或呼叫按钮。走廊设呼叫显示屏,显示呼叫的房间号。根据新技术发展情况,为简化布线关系,病房呼叫系统宜采用总线连接方式。

15.7.3.5 紧急呼救按钮

根据《无障碍设计规程》(GB 50763—2012),无障碍电梯的候梯厅的呼叫按钮高度为 90～110cm。在无障碍厕所的坐便器的墙面上应设高 400～500mm 的救助呼叫按钮。无障碍住房的居室和卫生间内应设求助呼叫按钮。

15.8 建筑物内综合布线设计要求

15.8.1 综合布线系统的构成

规范引用 《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)



3.1.1 综合布线系统应为开放式网络拓扑结构,应能支持语音、数据、图像、多媒体业务等信息的传递。

3.1.2 综合布线系统工程宜按下列七个部分进行设计:

1. 工作区：一个独立的需要设置终端设备(TE)的区域宜划分为一个工作区。工作区应由配线子系统的信息插座模块(TO)延伸到终端设备处的连接缆线及适配器组成。

2. 配线子系统：配线子系统应由工作区的信息插座模块、信息插座模块至电信间配线设备(FD)的配线电缆和光缆、电信间的配线设备及设备缆线和跳线等组成。

3. 干线子系统：干线子系统应由设备间至电信间的干线电缆和光缆、安装在设备间的建筑物配线设备(BD)及设备缆线和跳线组成。

4. 建筑群子系统：建筑群子系统应由连接多个建筑物之间的主干电缆和光缆、建筑群配线设备(CD)及设备缆线和跳线组成。

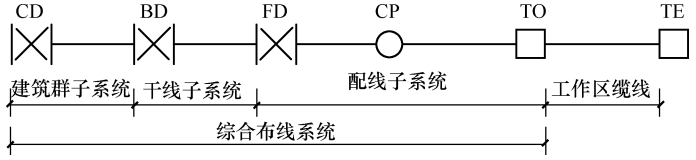
5. 设备间：设备间是在每幢建筑物的适当地点进行网络管理和信息交换的场地。对于综合布线系统工程设计，设备间主要安装建筑物配线设备。电话交换机、计算机主机设备及入口设施也可与配线设备安装在一起。

6. 进线间：进线间是建筑物外部通信和信息管线的入口部位，并可作为入口设施和建筑群配线设备的安装场地。

7. 管理：管理应对工作区、电信间、设备间、进线间的配线设备、缆线、信息插座模块等设施按一定的模式进行标识和记录。

3.1.3 综合布线系统的构成应符合以下要求：

1. 综合布线系统基本构成应符合图 15-29 的要求。



注：配线子系统中可以设置集合点(CP 点)，也可不设置集合点。

图 15-29 综合布线系统基本构成

2 综合布线子系统构成应符合图 15-30 的要求。

15.8.2 综合布线系统配置设计

15.8.2.1 工作区

《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

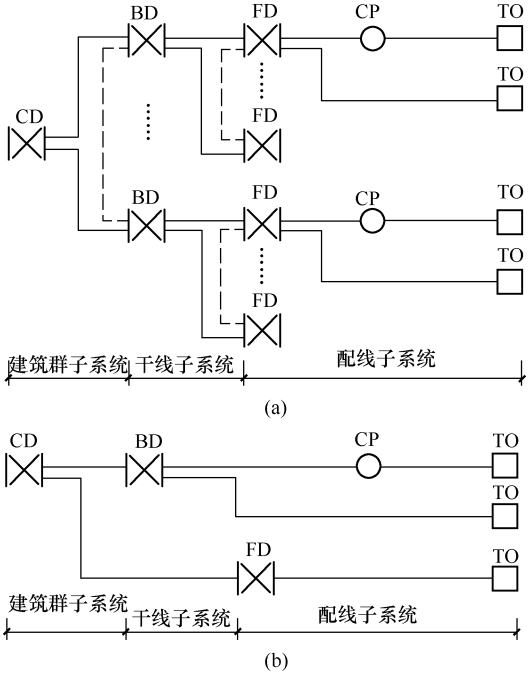
4.1.1 工作区适配器的选用宜符合下列规定：

1. 设备的连接插座应与连接电缆的插头匹配，不同的插座与插头之间应加装适配器。

2. 在连接使用信号的数模转换，光、电转换，数据传输速率转换等相应的装置时，采用适配器。

3. 对于网络规程的兼容，采用协议转换适配器。

4. 各种不同的终端设备或适配器均安装在工作区的适当位置，并应考虑现场的电源与接地。

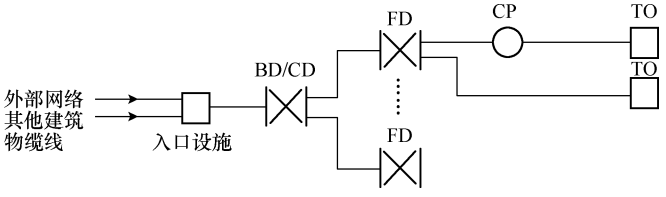


注:1. 图中的虚线表示 BD 与 BD 之间、FD 与 FD 之间可以设置主干缆线。

2. 建筑物 FD 可以经过主干缆线直接连至 CD,TO 也可以经过水平缆线直接连至 BD。

3. 综合布线系统入口设施及引入缆线构成应符合图 15-31 的要求。

图 15-30 综合布线子系统构成



注:对设置了设备间的建筑物,设备间所在楼层的 FD 可以和设备中的 BD/CD 及入口设施安装在同一场地。

图 15-31 综合布线系统引入部分构成

4.1.2 每个工作区的服务面积,应按不同的应用功能确定。

15.8.2.2 配线子系统

《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

规范引用

4.2.1 根据工程提出的近期和远期终端设备的设置要求、用户性质、网络构成及实际需要确定建筑物各层需要安装信息插座模块的数量及其位置,配线应留有扩展余地。

4.2.2 配线子系统缆线应采用非屏蔽或屏蔽 4 对对绞电缆,在需要时也可采用室内多模或单模光缆。

4.2.3 电信间 FD 与电话交换配线及计算机网络设备之间的连接方式应符合以下要求:

1. 电话交换配线的连接方式应符合图 15-32 的要求。

2. 计算机网络设备连接方式。

1)经跳线连接应符合图 15-33 的要求。

2)经设备缆线连接方式应符合图 15-34 的要求。

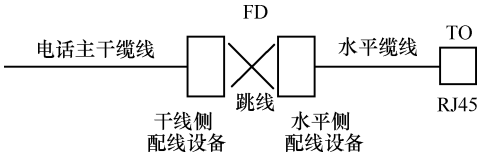


图 15-32 电话系统连接方式

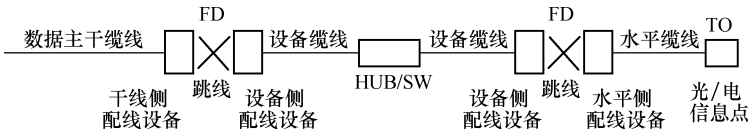


图 15-33 数据系统连接方式(经跳线连接)

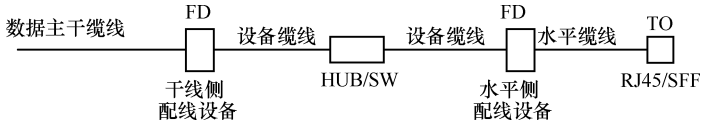


图 15-34 数据系统连接方式(经设备缆线连接)

4.2.4 每一个工作区信息插座模块(电、光)数量不宜少于 2 个,并满足各种业务的需求。

4.2.5 底盒数量应以插座盒面板设置的开口数确定,每一个底盒支持安装的信息点数量不宜大于 2 个。

4.2.6 光纤信息插座模块安装的底盒大小应充分考虑到水平光缆(2 芯或 4 芯)终接处的光缆盘留空间和满足光缆对弯曲半径的要求。

4.2.7 工作区的信息插座模块应支持不同的终端设备接入,每一个 8 位模块通用插座应连接 1 根 4 对对绞电缆;对每一个双工或 2 个单工光纤连接器件及适配器连接 1 根 2 芯光缆。

4.2.8 从电信间至每一个工作区水平光缆宜按 2 芯光缆配置。光纤至工作区域满足用户群或大客户使用时,光纤芯数至少应有 2 芯备份,按 4 芯水平光缆配置。

4.2.9 连接至电信间的每一根水平电缆/光缆应终接于相应的配线模块,配线模块与缆线容量相适应。

4.2.10 电信间 FD 主干侧各类配线模块应按电话交换机、计算机网络的构成及主干电缆/光缆的所需容量要求及模块类型和规格的选用进行配置。

4.2.11 电信间 FD 采用的设备缆线和各类跳线宜按计算机网络设备的使用端口容量和电话交换机的实装容量、业务的实际需求或信息点总数的比例进行配置,比例范围为 25%~50%。

15.8.2.3 干线子系统

规范引用 《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

4.3.1 干线子系统所需要的电缆总对数和光纤总芯数,应满足工程的实际需求,并留有适当的备份容量。主干缆线宜设置电缆与光缆,并互相作为备份路由。

4.3.2 干线子系统主干缆线应选择较短的安全的路由。主干电缆宜采用点对点终接,也可采用分支递减终接。

4.3.3 如果电话交换机和计算机主机设置在建筑物内不同的设备间,宜采用不同的主干缆线来分别满足语音和数据的需要。

4.3.4 在同一层若干电信间之间宜设置干线路由。

4.3.5 主干电缆和光缆所需的容量要求及配置应符合以下规定:

1. 对语音业务,大对数主干电缆的对数应按每一个电话8位模块通用插座配置1对线,并在总需求线对的基础上至少预留约10%的备用线对。

2. 对于数据业务应以集线器(HUB)或交换机(SW)群(按4个HUB或SW组成1群);或以每个HUB或SW设备设置1个主干端口配置。每1群网络设备或每4个网络设备宜考虑1个备份端口。主干端口为电端口时,应按4对线容量,为光端口时则按2芯光纤容量配置。

3. 当工作区至电信间的水平光缆延伸至设备间的光配线设备(BD/CD)时,主干光缆的容量应包括所延伸的水平光缆光纤的容量在内。

4. 建筑物与建筑群配线设备处各类设备缆线和跳线的配备宜符合《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)第4.2.11条的规定。

15.8.2.4 建筑群子系统

《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

4.4.1 CD宜安装在进线间或设备间,并可与入口设施或BD合用场地。

4.4.2 CD配线设备内、外侧的容量应与建筑物内连接BD配线设备的建筑群主干缆线容量及建筑物外部引入的建筑群主干缆线容量相一致。

15.8.2.5 设备间

《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

4.5.1 在设备间内安装的BD配线设备干线侧容量应与主干缆线的容量相一致。设备侧的容量应与设备端口容量相一致或与干线侧配线设备容量相同。

4.5.2 BD配线设备与电话交换机及计算机网络设备的连接方式亦应符合《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)第4.2.3条的规定。

15.8.2.6 进线间

《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

4.6.1 建筑群主干电缆和光缆、公用网和专用网电缆、光缆及天线馈线等室外缆线进入建筑物时,应在进线间成端转换成室内电缆、光缆,并在缆线的终端处可由多家电信业务经营者设置入口设施,入口设施中的配线设备应按引入的电、光缆容量配置。

4.6.2 电信业务经营者在进线间设置安装的入口配线设备应与BD或CD之间敷设相应的连接电缆、光缆,实现路由互通。缆线类型与容量应与配线设备相一致。

4.6.3 在进线间缆线入口处的管孔数量应满足建筑物之间、外部接入业务及多家电信

业务经营者缆线接入的需求，并应留有2～4孔的余量。

15.8.2.7 管理

规范引用 《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

4.7.1 对设备间、电信间、进线间和工作区的配线设备、缆线、信息点等设施应按一定的模式进行标识和记录，并宜符合下列规定：

1. 综合布线系统工程宜采用计算机进行文档记录与保存，简单且规模较小的综合布线系统工程可按图纸资料等纸质文档进行管理，并做到记录准确、及时更新、便于查阅；文档资料应实现汉化。

2. 综合布线的每一电缆、光缆、配线设备、端接点、接地装置、敷设管线等组成部分均应给定唯一的标识符，并设置标签。标识符应采用相同数量的字母和数字等标明。

3. 电缆和光缆的两端均应标明相同的标识符。

4. 设备间、电信间、进线间的配线设备宜采用统一的色标区别各类业务与用途的配线区。

4.7.2 所有标签应保持清晰、完整，并满足使用环境要求。

4.7.3 对于规模较大的布线系统工程，为提高布线工程维护水平与网络安全，宜采用电子配线设备对信息点或配线设备进行管理，以显示与记录配线设备的连接、使用及变更状况。

4.7.4 综合布线系统相关设施的工作状态信息应包括：设备和缆线的用途、使用部门、组成局域网的拓扑结构、传输信息速率、终端设备配置状况、占用器件编号、色标、链路与信道的功能和各项主要指标参数及完好状况、故障记录等，还应包括设备位置和缆线走向等内容。

15.8.3 综合布线系统的主要系统指标

规范引用 《综合布线系统工程设计规范》(GB 50311—2007)

5.0.1 综合布线系统产品技术指标在工程的安装设计中应考虑机械性能指标(如缆线结构、直径、材料、承受拉力、弯曲半径等)。

5.0.2 相应等级的布线系统信道及永久链路、CP链路的具体指标项目，应包括下列内容：

1. 3类、5类布线系统应考虑指标项目为衰减、近端串音(NEXT)。

2. 5e类、6类、7类布线系统，应考虑指标项目为插入损耗(IL)、近端串音、衰减串音比(ACR)、等电平远端串音(ELFEXT)、近端串音功率和(PS NEXT)、衰减串音比功率和(PS ACR)、等电平远端串音功率和(PS ELEFXT)、回波损耗(RL)、时延、时延偏差等。

3. 屏蔽的布线系统还应考虑非平衡衰减、传输阻抗、耦合衰减及屏蔽衰减。

5.0.3 综合布线系统工程设计中，系统信道的各项指标值应符合以下要求：

1. 回波损耗(RL)只在布线系统中的C、D、E、F级采用，在布线的两端均应符合回波损耗值的要求，布线系统信道的最小回波损耗值应符合表15-24的规定。

表 15-24 信道回波损耗值

频率/MHz	最小回波损耗/dB			
	C 级	D 级	E 级	F 级
1	15.0	17.0	19.0	19.0
6	15.0	17.0	18.0	18.0
100	—	10.0	12.0	12.0
250	—	—	8.0	8.0
600	—	—	—	8.0

2 布线系统信道的插入损耗(IL)值应符合表 15-25 的规定。

表 15-25 信道插入损耗值

频率/MHz	最大插入损耗/dB					
	A 级	B 级	C 级	D 级	E 级	F 级
0.1	16.0	5.5	—	—	—	—
1	—	5.8	4.2	4.0	4.0	4.0
16	—	—	14.4	9.1	8.3	8.1
100	—	—	—	24.0	21.7	20.8
250	—	—	—	—	35.9	33.8
600	—	—	—	—	—	54.6

3. 线对与线对之间的近端串音(NEXT)在布线的两端均应符合 NEXT 值的要求,布线系统信道的近端串音值应符合表 15-26 的规定。

表 15-26 信道近端串音值

频率/MHz	最小近端串音/dB					
	A 级	B 级	C 级	D 级	E 级	F 级
0.1	27.0	40.0	—	—	—	—
1	—	25.0	39.1	60.0	65.0	65.0
16	—	—	19.4	43.6	53.2	65.0
100	—	—	—	30.1	39.9	62.9
250	—	—	—	—	33.1	56.9
600	—	—	—	—	—	51.2

4. 近端串音功率和(PS NEXT)只应用于布线系统的 D、E、F 级,在布线的两端均应符合 PS NEXT 值要求,布线系统信道的 PS NEXT 值应符合表 15-27 的规定。

表 15-27 信道近端串音功率和值

频率/MHz	最小近端串音功率和/dB		
	D 级	E 级	F 级
1	57.0	62.0	62.0
16	40.6	50.6	62.0

续表

频率/MHz	最小近端串音功率和/dB		
	D级	E级	F级
100	27.1	37.1	59.9
250	—	30.2	53.9
600	—	—	48.2

5. 线对与线对之间的衰减串音比(ACR)只应用于布线系统的D、E、F级,ACR值是NEXT与插入损耗分贝值之间的差值,在布线的两端均应符合ACR值要求。布线系统信道的ACR值应符合表15-28的规定。

表15-28 信道衰减串音比值

频率/MHz	最小衰减串音比/dB		
	D级	E级	F级
1	56.0	61.0	61.0
16	34.5	44.9	56.9
100	6.1	18.2	42.1
250	—	−2.8	23.1
600	—	—	−3.4

6. ACR功率和(PS ACR)为表15-27近端串音功率和值与表15-25插入损耗值之间的差值。布线系统信道的PS ACR值应符合表15-29的规定。

表15-29 信道ACR功率和值

频率/MHz	最小ACR功率和/dB		
	D级	E级	F级
1	53.0	58.0	58.0
16	31.5	42.3	53.9
100	3.1	15.4	39.1
250	—	−5.8	20.1
600	—	—	−6.4

7. 线对与线对之间等电平远端串音(ELFEXT)对于布线系统信道的数值应符合表15-30的规定。

表15-30 信道等电平远端串音值

频率/MHz	最小等电平远端串音/dB		
	D级	E级	F级
1	57.4	63.3	65.0
16	33.3	39.2	57.5
100	17.4	23.3	44.4
250	—	15.3	37.8

续表

频率/MHz	最小等电平远端串音/dB		
	D级	E级	F级
600	—	—	31.3

8. 等电平远端串音功率和(PS ELFEXT)对于布线系统信道的数值应符合表15-31的规定。

表15-31 信道等电平远端串音功率和值

频率/MHz	最小等电平远端串音功率和/dB		
	D级	E级	F级
1	54.4	60.3	62.0
16	30.3	36.2	54.5
100	14.4	20.3	41.4
250	—	12.3	34.8
600	—	—	28.3

9 布线系统信道的直流环路电阻(d.c.)应符合表15-32的规定。

表15-32 信道直流环路电阻

最大直流环路电阻/Ω					
A级	B级	C级	D级	E级	F级
560	170	40	25	25	25

10. 布线系统信道的传播时延应符合表15-33的规定。

表15-33 信道传播时延

频率/MHz	最大传播时延/μs					
	A级	B级	C级	D级	E级	F级
0.1	20.000	5.000	—	—	—	—
1	—	5.000	0.580	0.580	0.580	0.580
16	—	—	0.553	0.553	0.553	0.553
100	—	—	—	0.548	0.548	0.548
250	—	—	—	—	0.546	0.546
600	—	—	—	—	—	0.545

11. 布线系统信道的传播时延偏差应符合表15-34的规定。

表15-34 信道传播时延偏差

等级	频率/MHz	最大时延偏差/μs
A	$f=0.1$	—
B	$0.1\leqslant f\leqslant 1$	—
C	$1\leqslant f\leqslant 16$	0.050①

续表

等级	频率/MHz	最大时延偏差/μs
D	1≤f≤100	0.050①
E	1≤f≤250	0.050①
F	1≤f<600	0.030②

注：①0.050 为 0.045+4×0.00125 的计算结果。

②0.030 为 0.025+4×0.00125 的计算结果。

12 一个信道的非平衡衰减[纵向对差分转换损耗(LCL)或横向转换损耗(TCL)]应符合表 15-35 的规定。在布线的两端均应符合不平衡衰减的要求。

表 15-35 信道非平衡衰减

等级	频率/MHz	最大不平衡衰减/dB
A	f=0.1	30
B	f=0.1 和 1	在 0.1MHz 时为 45；1MHz 时为 20
C	1≤f≤16	30～51g(f)f. f. s.
D	1≤f≤100	40～10lg(f)f. f. s.
E	1≤f≤250	40～10lg(f)f. f. s.
F	1≤f≤600	40～10lg(f)f. f. s.

5.0.4 对于信道的电缆导体的指标要求应符合以下规定：

1. 在信道每一线对中两个导体之间的不平衡直流电阻对各等级布线系统不应超过 3%。

2. 在各种温度条件下，布线系统 D、E、F 级信道线对每一导体最小的传送直流电流应为 0.175A。

3. 在各种温度条件下，布线系统 D、E、F 级信道的任何导体之间应支持 72V 直流工作电压，每一线对的输入功率应为 10W。

5.0.5 综合布线系统工程设计中，永久链路的各项指标参数值应符合表 15-36～表 15-46 的规定。

1. 布线系统永久链路的最小回波损耗值应符合表 15-36 的规定。

表 15-36 永久链路最小回波损耗值

频率/MHz	最小回波损耗/dB			
	C 级	D 级	E 级	F 级
1	15.0	19.0	21.0	21.0
16	15.0	19.0	20.0	20.0
100	—	12.0	14.0	14.0
250	—	—	10.0	10.0
600	—	—		10.0

2 布线系统永久链路的最大插入损耗值应符合表 15-37 的规定。

表 15-37 永久链路最大插入损耗值

频率/MHz	最大插入损耗/dB					
	A级	B级	C级	D级	E级	F级
0.1	16.0	5.5	—	—	—	—
1	—	5.8	4.0	4.0	4.0	4.0
16	—	—	12.2	7.7	7.1	6.9
100	—	—	—	20.4	18.5	17.7
250	—	—	—	—	30.7	28.8
600	—	—	—	—	—	46.6

3. 布线系统永久链路的最小近端串音值应符合表 15-38 的规定。

表 15-38 永久链路最小近端串音值

频率/MHz	最小近端串间/dB					
	A级	B级	C级	D级	E级	F级
0.1	27.0	40.0	—	—	—	—
1	—	25.0	40.1	60.0	65.0	65.0
16	—	—	21.1	45.2	54.6	65.0
100	—	—	—	32.3	41.8	65.0
250	—	—	—	—	35.3	60.4
600	—	—	—	—	—	54.7

4. 布线系统永久链路的最小近端串音功率和值应符合表 15-39 的规定。

表 15-39 永久链路最小近端串音功率和值

频率/MHz	最小近端串音功率和/dB		
	D级	E级	F级
1	57.0	62.0	62.0
16	42.2	52.2	62.0
100	29.3	39.3	62.0
250	—	32.7	57.4
600	—	—	51.7

5. 布线系统永久链路的最小 ACR 值应符合表 15-40 的规定。

表 15-40 永久链路最小 ACR 值

频率/MHz	最小 ACR/dB		
	D级	E级	F级
1	56.0	61.0	61.0
16	37.5	47.5	58.1
100	11.9	23.3	47.3
250	—	4.7	31.6

续表

频率/MHz	最小 ACR/dB		
	D 级	E 级	F 级
600	—	—	8.1

6. 布线系统永久链路的最小 PS ACR 值应符合表 15-42 的规定。

表 15-41 永久链路最小 PS ACR 值

频率/MHz	最小 PS ACR/dB		
	D 级	E 级	F 级
1	53.0	58.0	58.0
16	34.5	45.1	55.1
100	8.9	20.8	44.3
250	—	2.0	28.6
600	—	—	5.1

7. 布线系统永久链路的最小等电平远端串音值应符合表 15-42 的规定。

表 15-42 永久链路最小等电平远端串音值

频率/MHz	最小等电平远端串音/dB		
	D 级	E 级	F 级
1	58.6	64.2	65.0
16	34.5	40.1	59.3
100	18.6	24.2	46.0
250	—	16.2	39.2
600	—	—	32.6

8. 布线系统永久链路的最小 PS ELFEXT 值应符合表 15-43 的规定。

表 15-43 永久链路最小 PS ELFEXT 值

频率/MHz	最小 PS ELFEXT/dB		
	D 级	E 级	F 级
1	55.6	61.2	62.0
16	31.5	37.1	56.3
100	15.6	21.2	43.0
250	—	13.2	36.2
600	—	—	29.6

9 布线系统永久链路的最大直流环路电阻应符合表 15-44 的规定。

表 15-44 永久链路最大直流环路电阻 (Ω)

A 级	B 级	C 级	D 级	E 级	F 级
530	140	34	21	21	21

10. 布线系统永久链路的最大传播时延应符合表 15-45 的规定。

表 15-45 永久链路最大传播时延值

频率/MHz	最大传播时延/μs					
	A 级	B 级	C 级	D 级	E 级	F 级
0.1	19.400	4.400	—	—	—	—
1	—	4.400	0.521	0.521	0.521	0.521
16	—	—	0.496	0.496	0.496	0.496
100	—	—	—	0.491	0.491	0.491
250	—	—	—	—	0.490	0.490
600	—	—	—	—	—	0.489

11. 布线系统永久链路的最大传播时延偏差应符合表 15-46 的规定。

表 15-46 永久链路传播时延偏差

等级	频率/MHz	最大时延偏差/μs
A	$f=0.1$	—
B	$0.1\leqslant f\leqslant 1$	—
C	$1\leqslant f<16$	0.044①
D	$1\leqslant f\leqslant 100$	0.044①
E	$1\leqslant f\leqslant 250$	0.044①
F	$1\leqslant f\leqslant 600$	0.026②

注:①0.044 为 0.9×0.045+3×0.00125 的计算结果。

②0.026 为 0.9×0.025+3×0.00125 的计算结果。

5.0.6 各等级的光纤信道衰减值应符合表 15-47 的规定。

表 15-47 信道衰减值 (dB)

信道	多模		单模	
	850nm	1300nm	1310nm	1550nm
OF−300	2.55	1.95	1.80	1.80
OF−500	3.25	2.25	2.00	2.00
OF−2000	8.50	4.50	3.50	3.50

5.0.7 光缆标称的波长,每千米的最大衰减值应符合表 15-48 的规定。

表 15-48 最大光缆衰减值 (dB/km)

项目	OM1、OM2 及 OM3 多模		0S1 单模	
波长	850nm	1300nm	1310nm	1550nm
衰减	3.5	1.5	1.0	1.0

5.0.8 多模光纤的最小模式带宽应符合表 15-49 的规定。

表 15-49 多模光纤最小模式带宽

光纤类型	光纤直径/μm	最小模式带宽/(MHz·km)		
		过量发射带宽		有效光发射带宽
		波长		
		850nm	1300nm	850nm
OM1	50 或 62.5	200	500	—
OM2	50 或 62.5	500	500	—
OM3	50	1500	500	2000

参考文献

[1] 中华人民共和国建设部国家质量监督检验检疫总局. GB 50016—2006 建筑设计防火规范[S]. 北京：中国计划出版社，2006.

[2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50034—2013 建筑照明设计标准[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2004.

[3] 中华人民共和国建设部. GB 50038—2005 人民防空地下室设计规范[S]. 北京：国标图集出版社，2005.

[4] 中华人民共和国建设部. GB 50045—1995 高层民用建筑设计防火规范[S]. 北京：中国计划出版社，1995.

[5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50052—2009 供配电系统设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2009.

[6] 中华人民共和国建设部. GB 50053—2013 20kV 及以下变电所设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2014.

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . GB 50054—2011 低压配电设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2011.

[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50055—2011 通用用电设备配电设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2011.

[9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2010.

[10] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . GB 50058—2014 爆炸危险环境电力装置设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2014.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50059—2011 35～110kV 变电所设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2011.

[12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50060—2008 3～110kV 高压配电装置设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2008.

[13] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . GB 50062—2008 电力装置的继电保护和自动装置设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2008.

[14] 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB

50063—2008 电力装置的电气测量仪表装置设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.

[15]中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 242—2011 住宅建筑电气设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.

[16]中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50116—2013 火灾自动报警系统设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2014.

[17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50160—2008 石油化工企业设计防火规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.

[18] 中华人民共和国住房和城乡建设部 . GB 50174—2008 电子信息系统机房设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.

[19] 国家技术监督局,中华人民共和国建设部. GB 50200—1994 有线电视系统工程技术规范[S]. 北京:中国计划出版社,1994.

[20] 中华人民共和国建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 . GB 50217—2007 电力工程电缆设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2007.

[21] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50227—2008 并联电容器装置设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.

[22] 中华人民共和国建设部 . GB 50229—2006 火力发电厂与变电所设计防火规范[S]. 北京:中国计划出版社,2006.

[23] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50260—2013 电力设施抗震设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2013.

[24] 中华人民共和国建设部. GB 50293—1999 城市电力规划规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.

[25] 中华人民共和国信息产业部,中华人民共和国建设部. GB 50311—2007 综合布线系统工程设计规范[S]. 北京:中国标准出版社,2007.

[26] 中华人民共和国建设部. GB/T 50314—2006 智能建筑设计标准[S]. 北京:中国计划出版社,2006.

[27] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 16—2008 民用建筑电气设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

[28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 311.1—2012 绝缘配合 第 1 部分:定义、原则和规则[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[29] 中华人民共和国电力工业部 . DL/T 620—1997 交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S]. 北京:中国电力出版社,1997.

[30] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2012.

[31] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 17045—2008 电击防护 装置和设备的通用部分[S]. 北京:中国标准出版社,2009.

[32] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 5222—2005 导体和电器选择设计技术规定[S]. 北京:中国电力出版社,2005.

[33] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会 . GB 9089.1～9089.2—2008 严酷条件下户外场所电气设施[S]. 北京:中国标准出版

社,2008.
[34] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 12325—2008 电能质量 供电电压偏差[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[35] 国家标准化管理委员会. GB 12326—2008 电能质量 电压波动和闪变[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[36] 国家技术监督局 . GB/T 14549—1993 电能质量 公用电网谐波[S]. 北京:中国标准出版社,1993.
[37] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 15543—2008 电能质量 三相电压不平衡[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[38] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 13869—2008 用电安全导则[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[39] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 13870.1—2008(第一部分:常用部分) 电流通过人体的效应[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[40] 国家标准化管理委员会 . GB/T 13870.2—1997(第二部分:特殊情况) 电流通过人体的效应[S]. 北京:中国标准出版社,1997.
[41] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 14050—2008 系统接地的型式及安全技术要求[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
[42] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 12158—2006 防止静电事故通用导则[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
[43] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 16895.21—2011(第 4-41 部分:安全防护 电击防护)建筑物电气装置[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
[44] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国家标准化管理委员会. GB 16895.2—2005(第 4-42 部分:安全防护 热效应保护)建筑物电气装置[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
[45] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 16895.3—2004(第 5 部分:电气设备的选择和安装 第 54 章:接地配置、保护导体和保护连接导体) 建筑物电气装置[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
[46] 国家技术监督局 . GB 16895.4—1997 (第 5 部分:电气设备的选择和安装 第 53 章:开关设备和控制设备) 建筑物电气装置[S]. 北京:中国标准出版社,1997.
[47] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 16895.5—2012(第 4 部分:安全防护 第 43 章:过电流保护)低压电气装置[S]. 中国标准出版社,2012.
[48] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 16895.6—2000(第 5 部分:电气设备的选择和安装 第 52 章:布线系统)建筑物电气装置[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
[49] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB 16895.8—2010(第 7 部分:特殊装置或场所的要求 第 706 节:活动受限制的可导电场所) 建筑物电气装置[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
[50] 国家质量技术监督局. GB/T 16895.9—2000(第 7 部分:特殊装置或场所的要求 第 707 节:数据处理设备用电气装置的接地要求) 建筑物电气装置[S]. 北京:中国标准出版

社，2000.
[51] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. GB/T 16895.10—2010(第4部分：安全防护第44章：电压骚扰和电磁骚扰防护) 建筑物电气装置[S]. 北京：中国标准出版社，2010.
[52] 中华人民共和国建设部 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50348—2004 安全防范工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2004.
[53] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T 5044—2004 电力工程直流系统设计技术规程[S]. 北京：中国电力出版社，2004.
[54] 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50061—2010 66kV及以下架空电力线路设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2010.
[55] 中华人民共和国建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50371—2006 厅堂扩声系统设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2006.
[56] 中华人民共和国建设部. GB 50394—2007 入侵报警系统工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2007.
[57]中华人民共和国建设部. GB 50395—2007 视频安防监控系统工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2007.
[58] 中华人民共和国建设部. GB 50396—2007 出入口控制系统工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2007.
[59] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50115—2009 工业电视系统工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2010.
[60] 国家技术监督局，中华人民共和国建设部. GB 50067—1997 汽车库、修车库、停车场设计防火规范[S]. 北京：中国标准出版社，1998.
[61] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50098—2009 人民防空工程设计防火规范[S]. 北京：中国计划出版社，2009.
[62] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB50343—2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.
[63] 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50464—2008 视频显示系统工程技术规范[S]. 北京：中国计划出版社，2009.
[64] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50524—2010 红外线同声传译系统工程技术规范[S]. 北京：中国计划出版社，2010.
[65] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50526—2010 公共广播系统工程技术规范[S]. 北京：中国计划出版社，2010.
[66] 中华人民共和国住房和城乡建设部，中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50635—2010 会议电视会场系统工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2011.
[67] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50799—2012 电子会议系统工程设计规范[S]. 北京：中国计划出版社，2013.
[68] 水利电力西北电力设计院. 电力工程电气设计手册(电气一次部分)[M]. 北京：中国电力出版社，1989.
[69] 能源部西北电力设计院. 电力工程电气设计手册(电气二次部分)[M]. 北京：水利电力出版社，1991.
[70] 中国航空工业规划设计研究院. 工业和民用配电设计手册. 3版[M]. 北京：中国电力

出版社,2005.
[71] 钢铁企业电力设计手册编委会.钢铁企业电力设计手册[M].北京:冶金工业出版社,1996.
[72] 北京照明学会照明设计专业委员会.照明设计手册.2版[M].北京:中国电力出版社,2006.
[73] 机械电子工业部天津电气传动设计研究所.电气传动自动化技术手册.2版[M].北京:机械工业出版社,2005.

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010)88254396；(010)88258888

传　　真：(010)88254397

E-mail：dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路173信箱

　　电子工业出版社总编办公室

邮　　编：100036

《全国勘察设计注册电气工程师执业资格考试培训教程 专业考试(供配电)》 读者调查表

尊敬的读者:

欢迎您参加读者调查活动,请对我们的图书提出真诚的意见,您的建议将是我们创造精品的动力源泉。

1. 您可以登录 http://yydz.phei.com.cn,进入“客户留言”栏目,或者直接发邮件到 chaiy@phei.com.cn,将您对本书的意见和建议反馈给我们。

2. 您可以填写下表后寄给我们。

姓名:_____性别:□ 男 □ 女 年龄:_____职业:_____

电话:_____ E-mail:_____

通信地址:_____ 邮编:_____

1. 影响您购买本书的因素(可多选):

□封面封底 □价格 □内容简介、前言和目录 □书评广告 □出版物名声

□作者名声 □正文内容 □其他

2. 您对本书的满意度:

从技术角度 □很满意 □比较满意 □一般 □较不满意 □不满意

从文字角度 □很满意 □比较满意 □一般 □较不满意 □不满意

从排版、封面设计角度 □很满意 □比较满意 □一般 □较不满意 □不满意

3. 您最喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

4. 您最不喜欢书中的哪篇(或章、节)? 请说明理由。

5. 您希望本书在哪些方面进行改进?

6. 您感兴趣或希望增加的图书选题有:

邮寄地址:北京市海淀区万寿路 173 信箱电子信息出版分社 柴燕 收 邮编:100036

编辑电话:(010)88254448 E-mail:chaiy@phei.com.cn